

Υδραυλική ανοικτών αγωγών

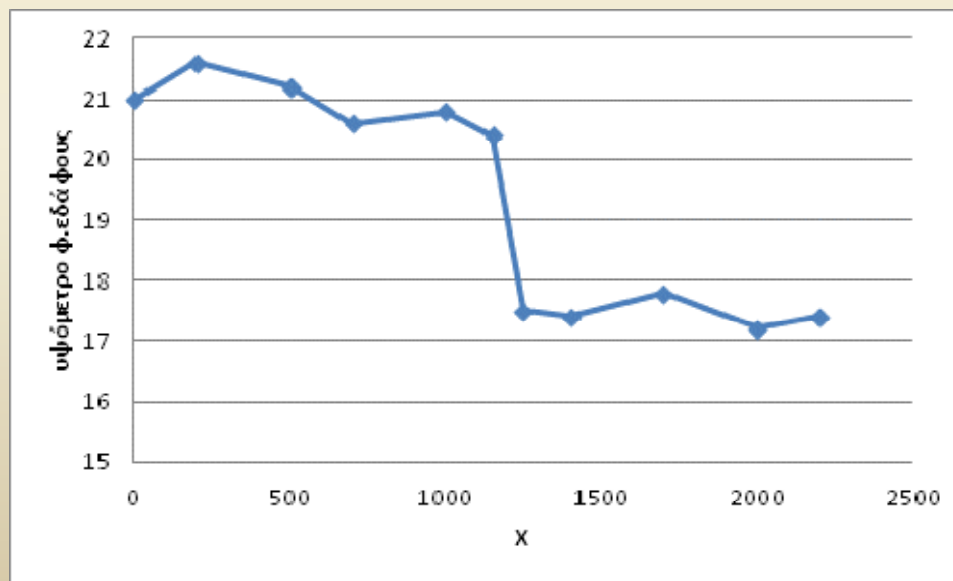
Θέμα, βασικές έννοιες, ομοιόμορφη ροή

Δρ Μ. Σπηλιώτη
Λέκτορα

Κείμενα από Μπέλλος, 2008 και από τις
σημειώσεις Χρυσάνθου, 2014

Γενική ιδέα

- Σκαρίφημα
- Σκελετοποίηση
- Διάταξη έργων: 3 περιοχές + υδροληψεία



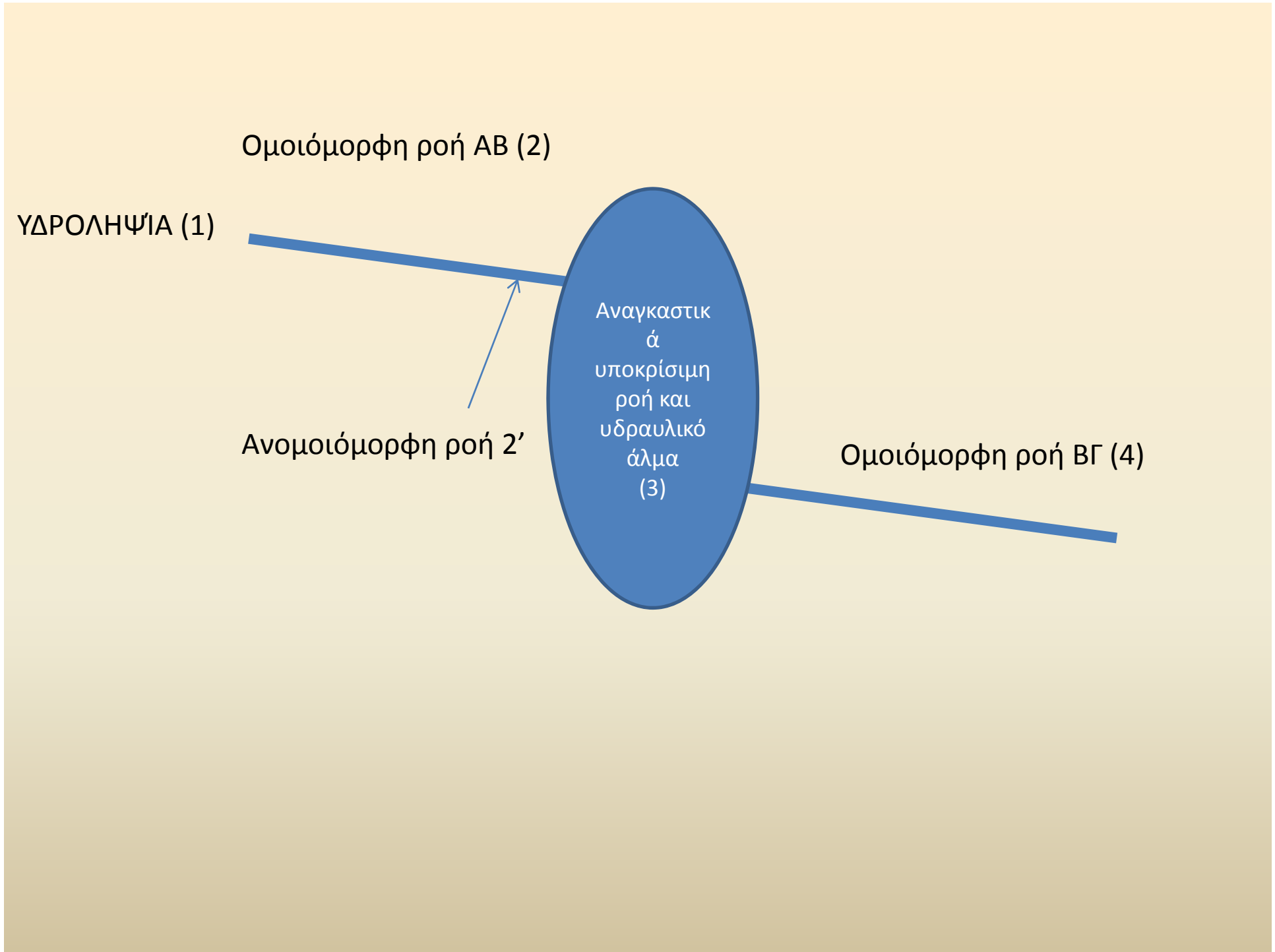
ΥΔΡΟΛΗΨΙΑ (1)

Ομοιόμορφη ροή AB (2)

Ανομοιόμορφη ροή 2'

Αναγκαστικ
ά
υποκρίσιμη
ροή και
υδραυλικό
άλμα
(3)

Ομοιόμορφη ροή ΒΓ (4)



Π1. ΥΠΟΔΕΙΓΜΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΔΙΩΡΥΓΑΣ ΠΡΟΣΑΓΩΓΗΣ ΑΡΔΕΥΤΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

Δεδομένα:

Μία προσαγωγός αρδευτική διώρυγα ξεκινάει από μία δεξαμενή ύδατος (σημείο A , $X.Θ.$ 0+000) και μετά από σχετικώς ευθύγραμμη διαδρομή καταλήγει στο σημείο Δ ($X.Θ.$ 2+200), κεφαλή του Αρδευτικού δικτύου, όπου διακλαδίζεται σε διώρυγες κατωτέρας τάξεως.

Η διατομή της Διώρυγας θα είναι τραπεζοειδής με κλίση πρανών $m = 1.5$ και επενδυμένη με σκυρόδεμα. Το πλάτος στέψεως των αναχωμάτων της Διώρυγας θα είναι 3.0 m .

Η παροχή υπολογισμού της Διώρυγας είναι $Q = 30.5\text{ m}^3/\text{sec}$.

Η κατά μήκος τομή του εδάφους στην οριζοντιογραφία που έχει επιλεγεί δίνεται στον Πίνακα Π1.1 που ακολουθεί.

Άλλα απαιτούμενα στοιχεία να επιλεγθούν από τη βιβλιογραφία.

Ζητούμενα

Με βάση τα παραπάνω δεδομένα ζητείται:

- α) Να γίνει ο υδραυλικός υπολογισμός της διώρυγας σε συνθήκες ομοιόμορφης ροής.
- β) Να προσδιοριστεί η ελάχιστη απαιτούμενη στάθμη του ύδατος στη δεξαμενή τροφοδοσίας της Διώρυγας υπό συνθήκες ανομοιόμορφης ροής.
- γ) Να σχεδιαστούν η πλήρης κατά μήκος τομή της Διώρυγας και όσες τυπικές κατά πλάτος τομές αυτής θεωρούνται απαραίτητες.
- δ) Να υπολογισθούν υδραυλικά και να σχεδιασθούν με λεπτομέρεια τυχόν απαιτούμενα ειδικά υδραυλικά έργα στη Διώρυγα (υδροληψία, αναβαθμός, κ.τ.λ.).
- ε) Να συνταχθούν πίνακες προμέτρησης των απαιτούμενων εργασιών και υλικών για την κατασκευή της Διώρυγας.

Προϋποθέσεις:

Η ροή γενικώς πρέπει να είναι υποκρίσιμη με ταχύτητα $V \leq 3 \text{ m/s}$, εκτός της περιοχής των ειδικών έργων, όπου μπορούμε να έχουμε αριθμό Froude $F_r \geq 1$. Η κατά πλάτος τομή του εδάφους θεωρείται ότι είναι οριζόντια. Η καθ' ύψος τοποθέτηση του πυθμένα της διώρυγας θα γίνει με κριτήριο είτε την απαιτούμενη στάθμη ύδατος ή το ισοζύγιο εκσκαφών και επιχωμάτων κατά σημαντικά τμήματα της διώρυγας.

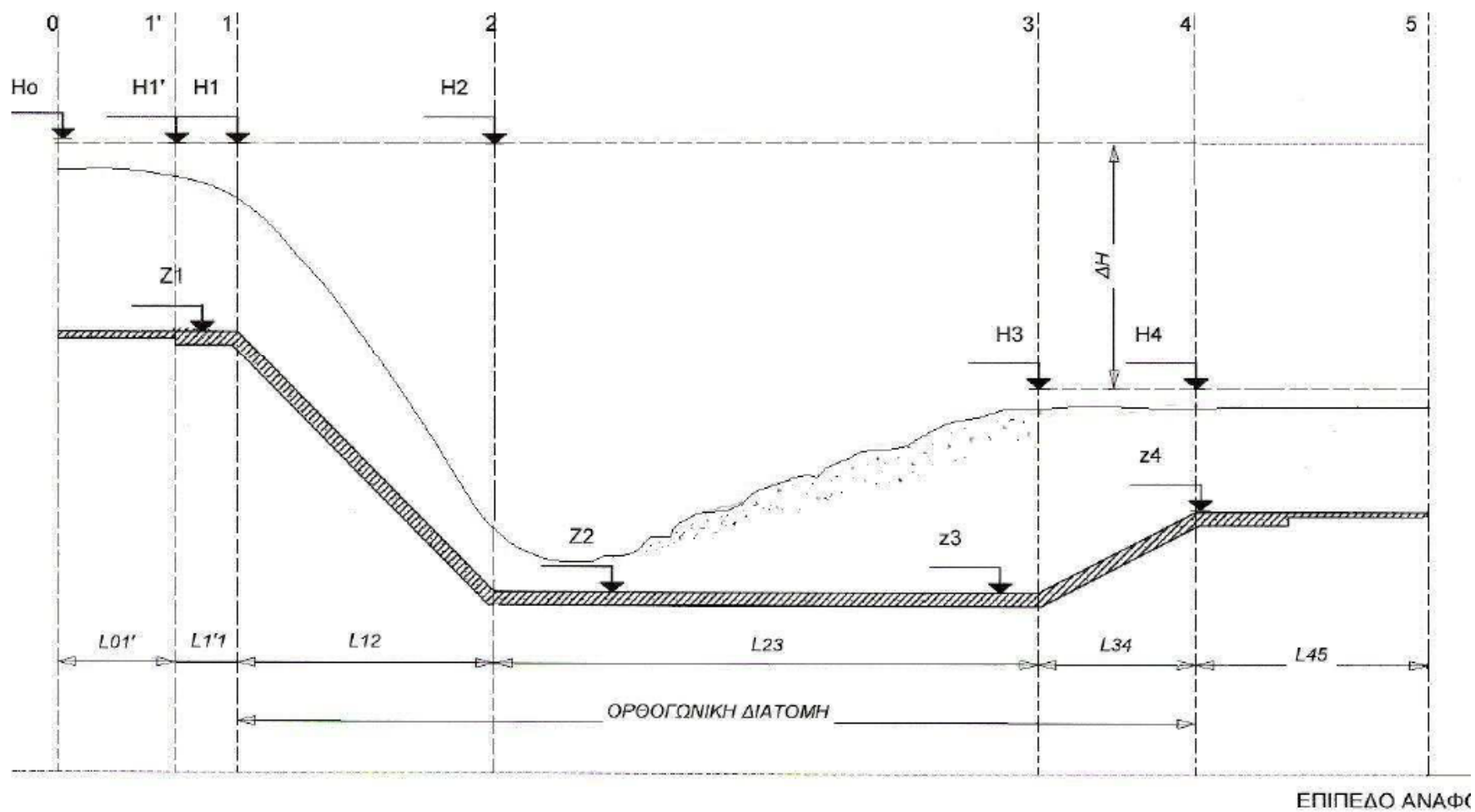
Η εισροή του ύδατος στη Διώρυγα ρυθμίζεται με επίπεδα θυροφράγματα στην θέση Α. Ανάλογα θυροφράγματα υφίστανται και στη θέση Δ για τον έλεγχο της ροής προς τις τροφοδοτούμενες Διώρυγες και τον χωρισμό της παροχής σε δύο ίσα μέρη. Ακόμη θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι η ελάχιστη απαιτούμενη στάθμη ύδατος στη θέση Δ είναι ίση με το υψόμετρο εδάφους +0.50 m.

Τέλος τα ειδικά έργα (υδροληψίες, αναβαθμοί, υδατογέφυρες κ.λ.π.) διαμορφώνονται σε ορθογωνική διατομή μέσω μεταβατικών τμημάτων με αναλογία προσαρμογής 1:5.

Πίνακας Π1.1

Στοιχεία κατά μήκος τομής του εδάφους από τη διατομή Α μέχρι Δ

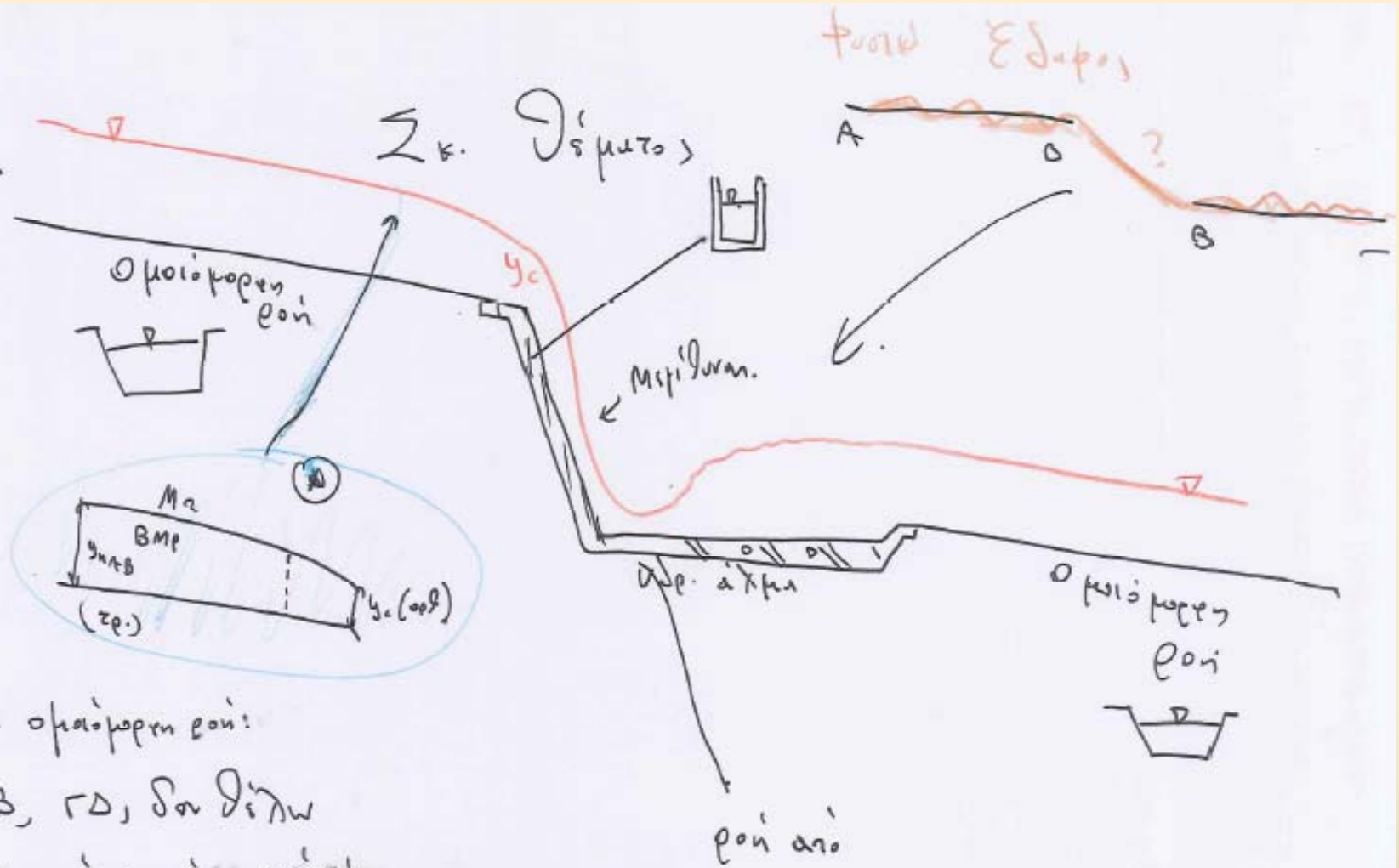
α/α	Διατομή	Χ.Θ.	Υψόμ. εδάφους
1	A	0+00	21.00
2		0+200	21.60
3		0+500	21.20
4		0+700	20.60
5		1+00	20.80
6	B	1+150	20.40
7	Γ	1+250	17.50
8		1+400	17.40
9		1+700	17.80
10		2+00	17.20
11	Δ	2+200	17.40



Μεταβατικό τμήμα , ΒΓ

Σκαρίφημα

Υδρολ. (5)
 Β. Δ. υδρολ.
 υδ. αλμ. +
 ανάντη
 θυροφραγμα

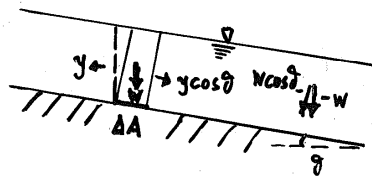


Σε ομοιογενή ροή:
 ΑΒ, ΓΔ, Δου δίδω
 η ροή να είναι κλίση
 δίδω να είναι "ασφαλώς"

Υποκρίση.

Υδρευτική αλμ., Ρρονοχυσί, Καταστροφή ενέρχεται

Παράλληλη ροή σε κεκλιμένο αγωγό



w: κατακόρυφη δύναμη βάρους

- Όγκος νερού: $\Delta A \cdot y \cos \theta$
- Βάρος νερού: $w = \rho g \cdot \Delta A \cdot y \cos \theta$
- Συνιστώσα του βάρους κάθετη προς τον πυθμένα:
 $w \cos \theta = (\rho g \cdot \Delta A \cdot y \cos \theta) \cos \theta$
- Πίεση στον πυθμένα (επιφάνεια ΔA) λόγω του υπερκείμενου βάρους νερού:

$$p = \frac{(\rho g \cdot \Delta A \cdot y \cos \theta) \cos \theta}{\Delta A} = \rho g y \cos^2 \theta$$

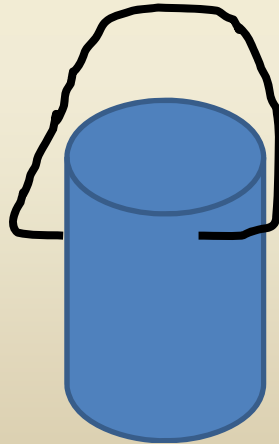
$$p = \rho g y \cos^2 \theta$$

- Όταν θ μικρή $\Rightarrow \cos \theta \approx 1.0 \Rightarrow$ $p = \rho g y$

Βασικές έννοιες

(Ογκομετρική παροχή)

- Όγκος στη μονάδα του χρόνου
- Πόσο γρήγορα γεμίζει ένας κουβάς?
- Παροχή = όγκος κουβά (που πληρώθηκε με νερό) / χρόνος για να γεμίσει
(m^3/s)

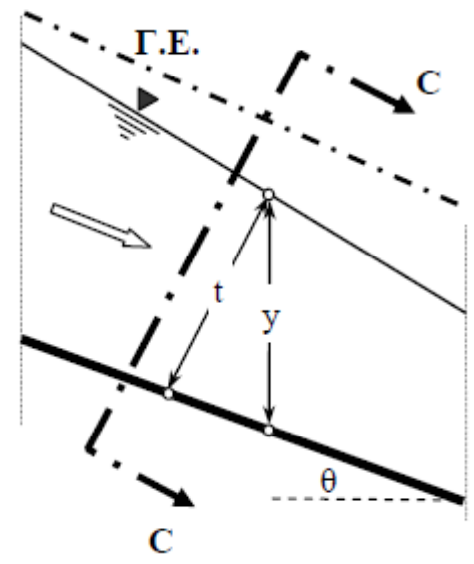
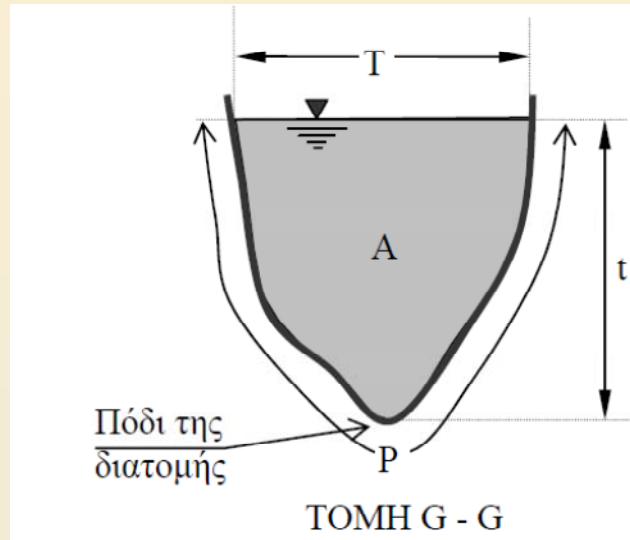


ΠΙΝΑΚΑΣ 1.3 Σύμφωνες μονάδες

Διάσταση	Σύστημα SI
μήκος	μέτρο (m)
μάζα	κιλό (kg)
χρόνος	δευτερόλεπτο (sec)
δύναμη	newton (n)
πίεση	pascal (m)
πυκνότητα	κιλό ανά m^3 (kg/m^3)
όγκος	κυβικό μέτρο (m^3)
ισχύς	watt (W)

Μεταφορά νερού με αγωγούς

- **Ανοικτοί αγωγοί:** το νερό ρέει με ελεύθερη επιφάνεια (όπου η πίεση είναι ίση με την ατμοσφαιρική) ενώ η κύρια δύναμη ροής είναι η βαρύτητα
- **Κλειστοί αγωγοί:** Δεν υπάρχει ελεύθερη επιφάνεια ενώ η κίνηση μπορεί να ερμηνευθεί σε διαφορά πιέσεως
- Ανοικτοί αγωγοί: Τεχνητοί και φυσικοί
- Ανοικτοί αγωγοί:
 - φυσικοί αγωγοί, ακανόνιστη μεταβλητή διατομή
 - Πρισματικοί: διώρυγες σε αρδεύσεις και στο εξωτερικό υδραγωγείο, αποχετεύσεις, σταθερή διατομή για μεγάλα μήκη, ποικιλία διατομών
- Κλειστοί αγωγοί: αγωγοί διανομής, αγωγοί με άντληση για κατανίκηση υψομετρικών διαφορών, συνήθως κυκλικοί αγωγοί.



(Παπαϊωάννου, 2010)

Συνήθως οι ανοικτοί αγωγοί (ιδιαίτερα στα περισσότερα τεχνικά έργα) έχουν μικρές κλίσεις, επομένως το βάθος ροής (ύψος νερού κάθετο στη μέση ταχύτητα, t) είναι περίπου ταυτόσημο με την κατακόρυφη απόσταση από τον πυθμένα έως την ελεύθερη επιφάνεια, y .

Έργα μηχανικού, ήπιες κλίσεις, t (βάθος ροής) και y περίπου ταυτίζονται

Εφ. Υδραυλική

- Παραδοχές , Θέμα:
 - Μόνιμη ροή
 - Ομοιόμορφη κατανομή καθ' ύψος για την ταχύτητα

Πραγματικά, μεταβολής της ταχύτητας καθ' ύψος

- Με βάση τις οριακές συνθήκες η ταχύτητα στα τοιχώματα των αγωγών είναι μηδέν, επομένως το προφίλ ταχυτήτων αλλάζει καθ' ύψος ακόμη και στην ομοιόμορφη ροή

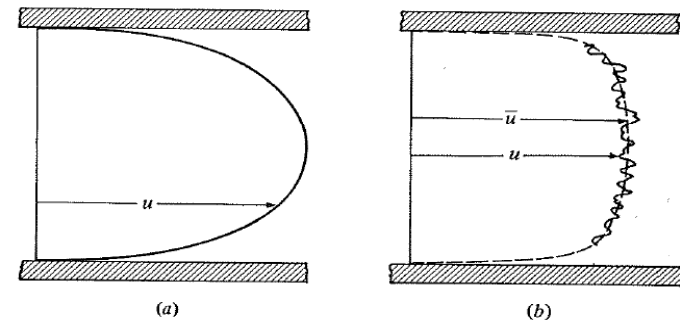
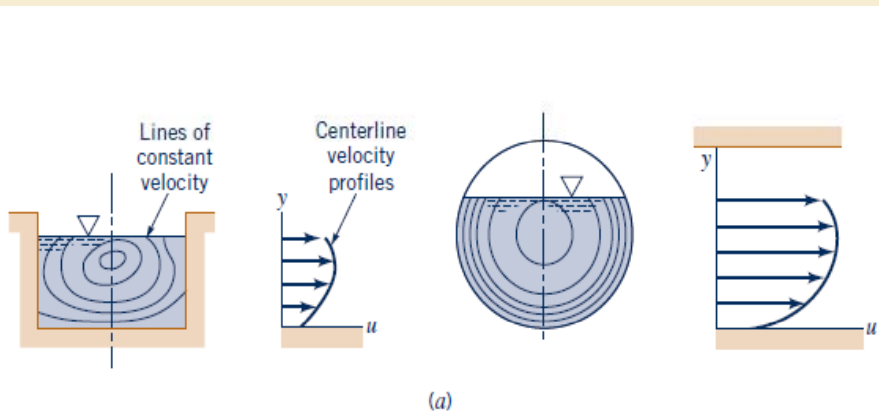


FIGURE 4-4 Laminar and turbulent flow in a pipe. (a) Laminar flow, (b) Turbulent flow.

- απλοποίηση, θεωρούμενο προφίλ ταχυτήτων (μη πραγματικό)



προσέγγιση

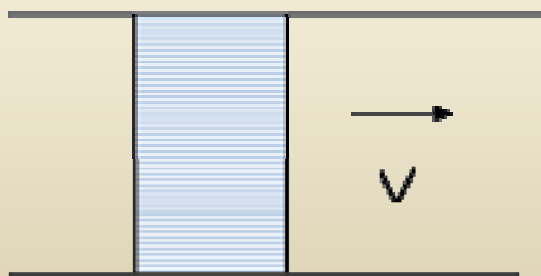
Μέση ταχύτητα

$$Q_{\text{ΟΡΙΣΜΟΣ}} = \bar{V} \cdot A \Leftrightarrow \bar{V} = \frac{Q}{A}$$

- Ορισμός με βάση την παροχή

\bar{V} : Μέση ταχύτητα είναι η παροχή που διέρχεται ανά μονάδα επιφανεΐας

διατομή: $\bar{V} = Q/A = \frac{1}{A} \iint_A u dA$ όπου u σημειακή ταχύτητα



π.χ ορθ. διατομή:

$$Q = A \cdot \bar{V} = \int_0^y u(y) dA = \int_0^y u(y) (b \cdot dy) = b \int_0^y u(y) dy$$

A diagram showing a differential area element dQ . It is represented by a blue double-headed arrow pointing left and right, with a blue box containing the text dQ below it.

Ωστόσο, η μέση ταχύτητα δεν είναι πάντα σωστή να τίθεται στην εξίσωση της ενέργειας.....

Συντελεστής διόρθωσης κινητικής ενέργειας (α) (5)

- Η χρήση της μέσης ταχύτητας καταλήγει στον υπολογισμό κινητικής ενέργειας χαμηλότερης από την πραγματική.

Γι' αυτό, για τον καθορισμό της πραγματικής κινητικής ενέργειας, ιδίως σε αγωγούς ακανόνιστης διατομής, πρέπει να εφαρμοστεί ο συντελεστής διόρθωσης α.

- $a \frac{v^2}{2g}$: πραγματικό ύψος κινητικής ενέργειας
(Κινητική ενέργεια ανά μονάδα βάρους του ρευστού)

v : μέση ταχύτητα σε μια διατομή

a : συντελεστής Coiotis

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{ρυθμός μεταφοράς κινητικής} \\ \text{ενέργειας δια μέσου μίας διατομής} \end{array} \right\} =$$

$$\int_A \rho \left(\frac{V^2}{2} \right) \cdot (V dA) \stackrel{\text{ορ}}{=} \alpha \left(\frac{\bar{V}^2}{2} \right) Q \Leftrightarrow \{ Q = \bar{V} \cdot A \}$$

$$\alpha = \frac{\int_A \rho \left(\frac{V^3}{2} \right) dA}{\int_A \rho \left(\frac{\bar{V}^3}{2} \right) dA} =$$

$$\frac{1}{A \cdot \bar{V}^3} \int_A V^3 dA$$

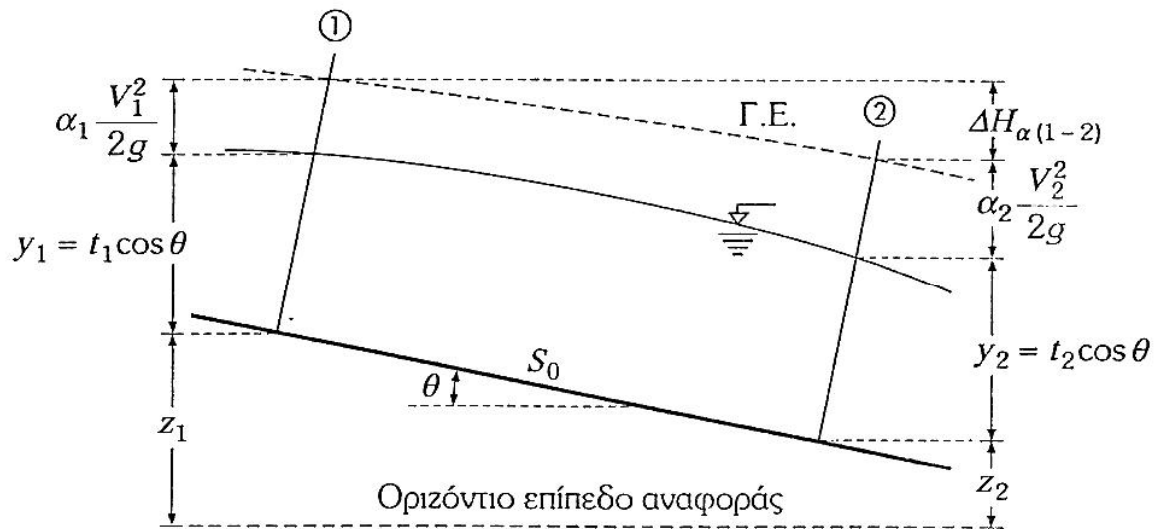
Εξίσωση Ενέργειας

Η αρχή διατήρησης της ενέργειας, εφόσον η κατά μήκος κλίση, S_0 , του πυθμένα του αγωγού είναι μικρή, ώστε να θεωρηθεί $\cos \theta = 1$, οδηγεί στην εξίσωση:

$$z_1 + y_1 + a_1 (V_1^2 / 2g) = z_2 + y_2 + a_2 (V_2^2 / 2g) + \Delta H_{a(1-2)} \quad (3.5)$$

όπου: z_i = το υψόμετρο του πυθμένα και a ο συντελεστής συνόρθωσης της κινητικής ενέργειας ο οποίος ορίζεται ως:

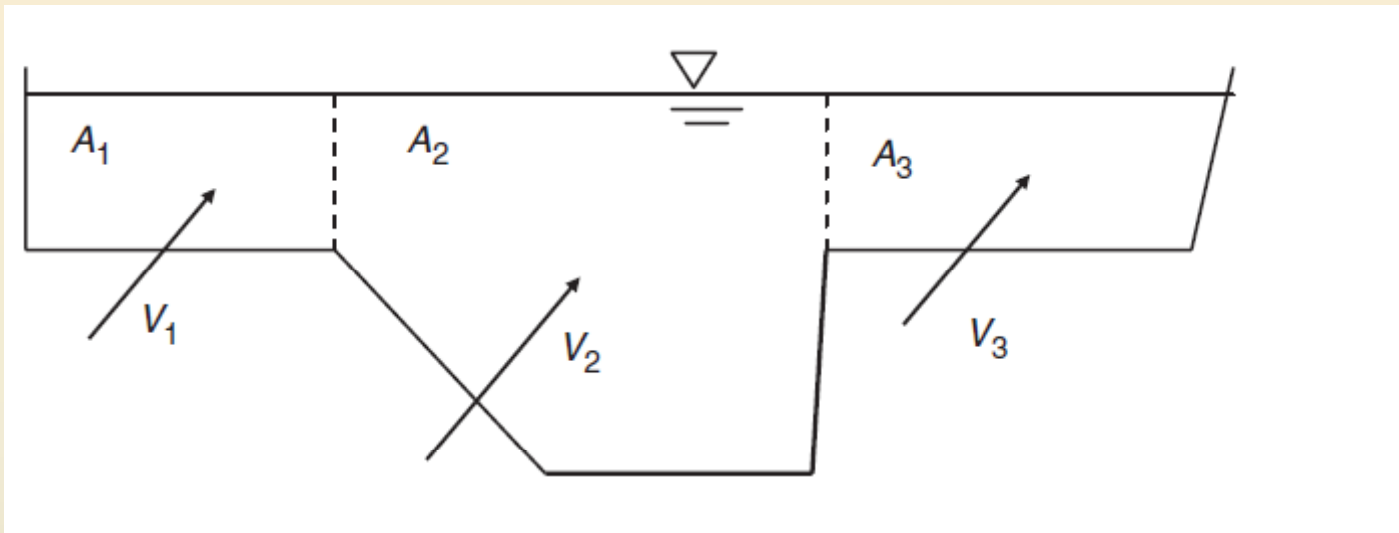
$$a = \frac{\int_A V^3 dA}{V^3 A} = \frac{\int_A V^3 dA}{QV^2} \quad (3.6)$$



Μόνο για
ομοιόμορφη ροή
 $y_1 = y_2$
 $V_1 = V_2$
 $S_0 = S_f$

Σχ. 3.3: Η εξίσωση ενέργειας σε επιλεγμένο όγκο αναφοράς.

Σύνθετη διατομή



$$\alpha = \frac{V_1^3 A_1 + V_2^3 A_2 + V_3^3 A_3}{V^3 A}$$

Ενδεικτικές τιμές των συντελεστών α και β

Είδος διατομής	α	β
Γεωμετρικού σχήματος	1.10-1.20	1.03-1.07
Φυσική	1.15-1.50	1.05-1.17
Ακανόνιστη	1.50-2.00	1.17-1.33

energy and momentum coefficients.

Solution (Αραβόγλυφο) Το συνολικό διαρροή κινείται
(Συμπλ, 1989) *επίρροη* α σφ *σώμα* *διατομή*

$$Q = AV = \Delta A_1 v_1 + \Delta A_2 v_2 + \Delta A_3 v_3 + \dots$$

$$(3820)V = (120)1.2 + (540)1.43 + (880)2.30 + (920)2.42$$

$$+ (800)2.52 + (480)1.92 + (80)0.95$$

$$= 8180.2$$

$$V = \frac{8180.2}{3820} = 2.14$$

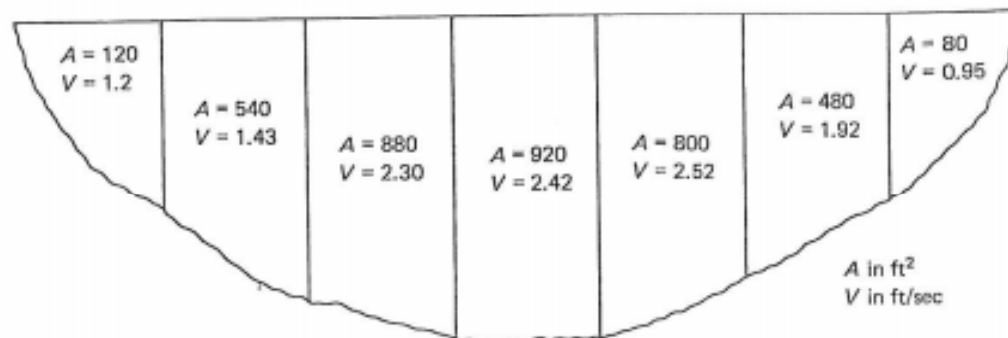
επίρρ *βουλιόφι*
σε m, s, N

μετρήσεις

Section	Area, ΔA (ft ²)	Velocity, V (ft/sec)	ΔAV^3	ΔAV^2
1	120	1.2	207.36	172.80
2	540	1.43	1,579.07	1,104.25
3	880	2.30	10,706.96	4,655.20
4	920	2.42	13,038.69	5,387.89
5	800	2.52	12,802.41	5,080.32
6	480	1.92	3,397.39	1,769.47
7	80	0.95	68.59	72.20
Total	3820		41,800.5	18,261.93

$$\alpha = \frac{\sum V^3 \Delta A}{V^3 A} = \frac{41,800.5}{3820(2.14)^3} = 1.11$$

$$\beta = \frac{\sum V^2 \Delta A}{V^2 A} = \frac{18,261.93}{3820(2.14)^2} = 1.04$$

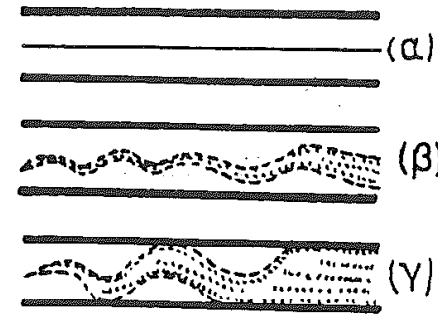
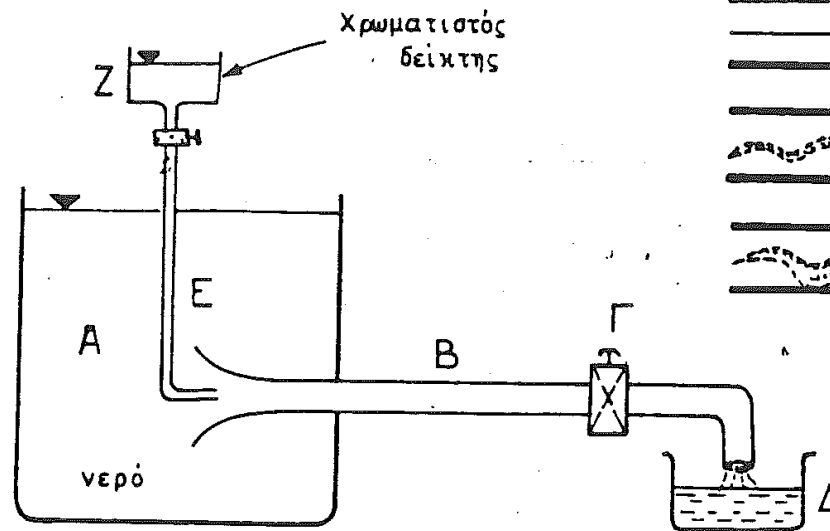


Στρωτή και Τυρβώδης ροή

ΚΛΕΙΣΤΟΙ ΑΓΟΓΟΙ

Στρωτή και τυρβώδης ροή

Συσκευή
Reynolds



$$\text{Αριθμός Reynolds} = Re = \frac{\text{δυνάμεις αδρανείας}}{\text{δυνάμεις ιξώδους}}$$

$$Re = \frac{u l}{\nu}$$

u : ταχύτητα του υγρού

l : χαρακτηριστικό μέγεθος με διαστάσεις μήκους,

Κριτήριο στρωτούς η τυρβώδους ροής
Ορίζεται με διακυμάνσεις...

Ορισμός: ως $l = 4R$ (συμβατό με Darcy –Weisbach)

Κριτήριο στρωτής ροής

$$Re = \frac{V 4R}{\nu} \leq 2000$$

Ορισμός: ως $l = R$ (συμβατό με Darcy –Weisbach)

Κριτήριο στρωτής ροής

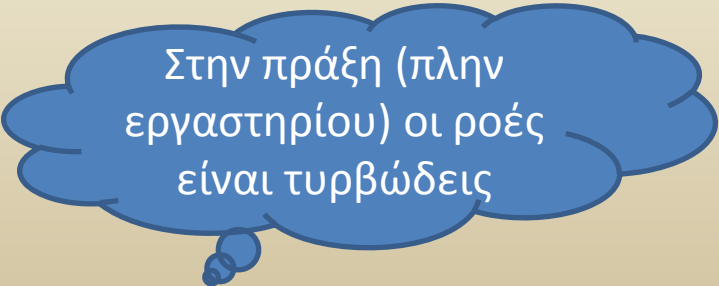
$$Re = \frac{V \cdot R}{\nu} \leq 500 \text{ (E l g e r e t a l., 2014), (600 για άλλους συγγορ)}$$

$$R = \frac{A}{P}$$

Ορισμός: ως $l = R$ (συμβατό με Darcy –Weisbach)

Κριτήριο τυρβώδους ροής ροής

$$Re = \frac{V \cdot R}{\nu} \geq 750,$$



Στην πράξη (πλην
εργαστηρίου) οι ροές
είναι τυρβώδεις

Ορισμός του προβλήματος

Νερό θερμοκρασίας 15°C ρέει σε έναν αγωγό ορθογωνικής διατομής με βάθος ροής 2 m. Ποιος είναι ο αριθμός Reynolds εάν η μέση ταχύτητα είναι 0.03 m/s;

Περιγραφή της κατάστασης

Νερό ρέει σε ένα ορθογώνιο αγωγό.

$$B = 3 \text{ m} \quad y = 2 \text{ m} \quad V = 0.03 \text{ m/s}$$

Ιδιότητες. Νερό (15°C, 1 atm) από τον Πίνακα A.5: $\nu = 1.14 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$.

Καθορισμός του στόχου

1. Re ← αριθμός Reynolds.

Ανάληψη δράσης (εκτέλεση του σχεδίου επίλυσης)

1. Υδραυλική ακτίνα

$$R_h = \frac{By}{B + 2y} = \frac{(3 \text{ m})(3 \text{ m})}{(3 \text{ m}) + 2(2 \text{ m})} = 0.86 \text{ m}$$

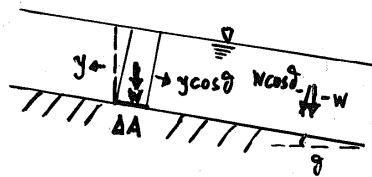
2. Αριθμός Reynolds

$$Re = \frac{VR_h}{\nu} = \frac{(0.03 \text{ m/s})(0.86 \text{ m})}{(1.14 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s})} = 22632$$

Επομένως η ροή είναι τυρβώδης (Elger et al., 2014)

ΘΕΩΡΙΑ

Παράλληλη ροή σε κεκλιμένο αγωγό



w: κατακόρυφη δύναμη βάρους

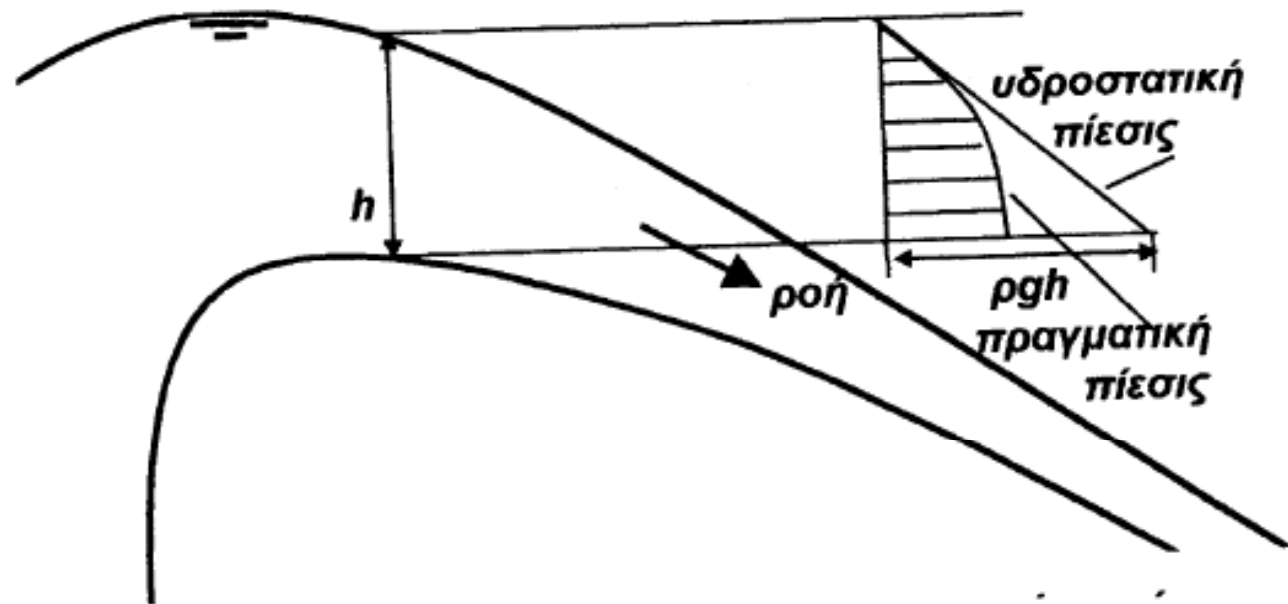
- Όγκος νερού: $\Delta A \cdot y \cos \theta$
- Βάρος νερού: $w = \rho g \cdot \Delta A \cdot y \cos \theta$
- Συνιστώσα του βάρους κάθετη προς τον πυθμένα:
 $w \cos \theta = (\rho g \cdot \Delta A \cdot y \cos \theta) \cos \theta$
- Πίεση στον πυθμένα (επιφάνεια ΔA) λόγω του υπερκείμενου βάρους νερού:

$$p = \frac{(\rho g \cdot \Delta A \cdot y \cos \theta) \cos \theta}{\Delta A} = \rho g y \cos^2 \theta$$

$$p = \rho g y \cos^2 \theta$$

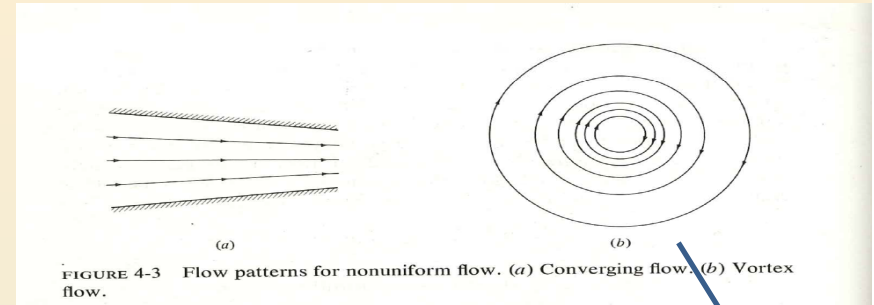
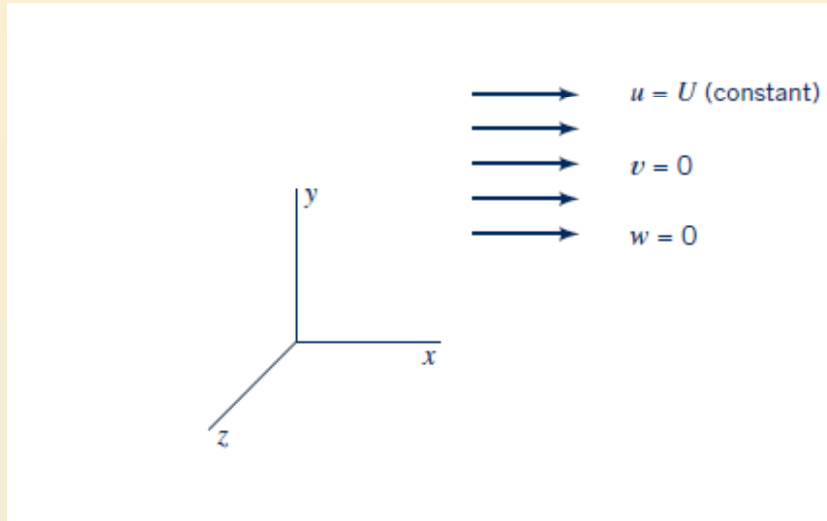
- Όταν θ μικρή $\Rightarrow \cos \theta \approx 1.0 \Rightarrow$ $p = \rho g y$

Μη υδροστατική κατανομή της πίεσης σε κυρτές επιφάνειες ανοικτών αγωγών



Σχήμα 3.5 Κατανομή πίεσεως της ροής επί κυρτής επιφάνειας

Ομοιόμορφη ροή



Μη ομοιόμορφη ροή

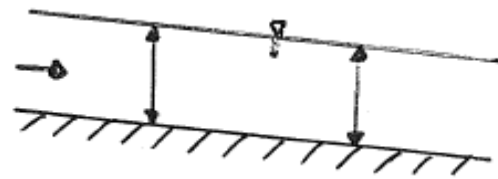
Ομοιόμορφη ροή: όταν η μεταβολή της ταχύτητας ίδια σε οποιαδήποτε επιλεγθείσα διεύθυνση, s

$$\frac{\partial U}{\partial s} = 0$$

Στους αγωγούς (επαφή με στερεά τοιχώματα) μπορεί να επεκταθεί θεωρώντας μόνο αν η **μέση ταχύτητα** για ίδιες διατομές παραμένει η ίδια .
(Streeter et al., 2010)



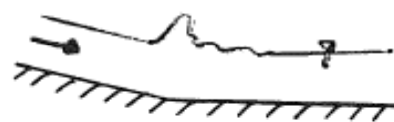
Ομοιόμορφη : Ταχύτητα του νερού σταθερή,
βάθος νερού σταθερό
από διατομή σε διατομή \Rightarrow
Επιφάνεια νερού παράλληλη προς τον
πυθμένα



Ανομοιόμορφη : Μεταβαλλόμενο βάθος από διατομή
σε διατομή \Rightarrow
Επιφάνεια νερού μη παράλληλη προς
τον πυθμένα



Βαθμιαία μεταβολή

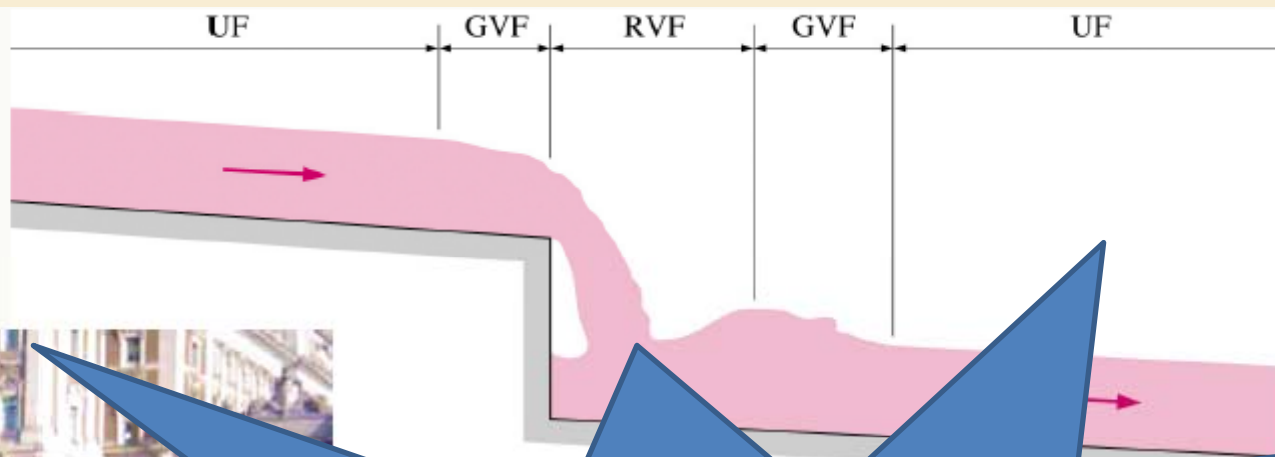


Ταχεία (απότομη μεταβολή)

Στο παρακάτω σχήμα λαμβάνει χώρα:

1. Ομοιόμορφη ροή
2. Βαθμιαία μεταβαλλόμενη ροή
3. Ταχέως μεταβαλλόμενη ροή
4. Βαθμιαία μεταβαλλόμενη ροή
5. Ομοιόμορφη ροή

Η ροή είναι μόνιμη



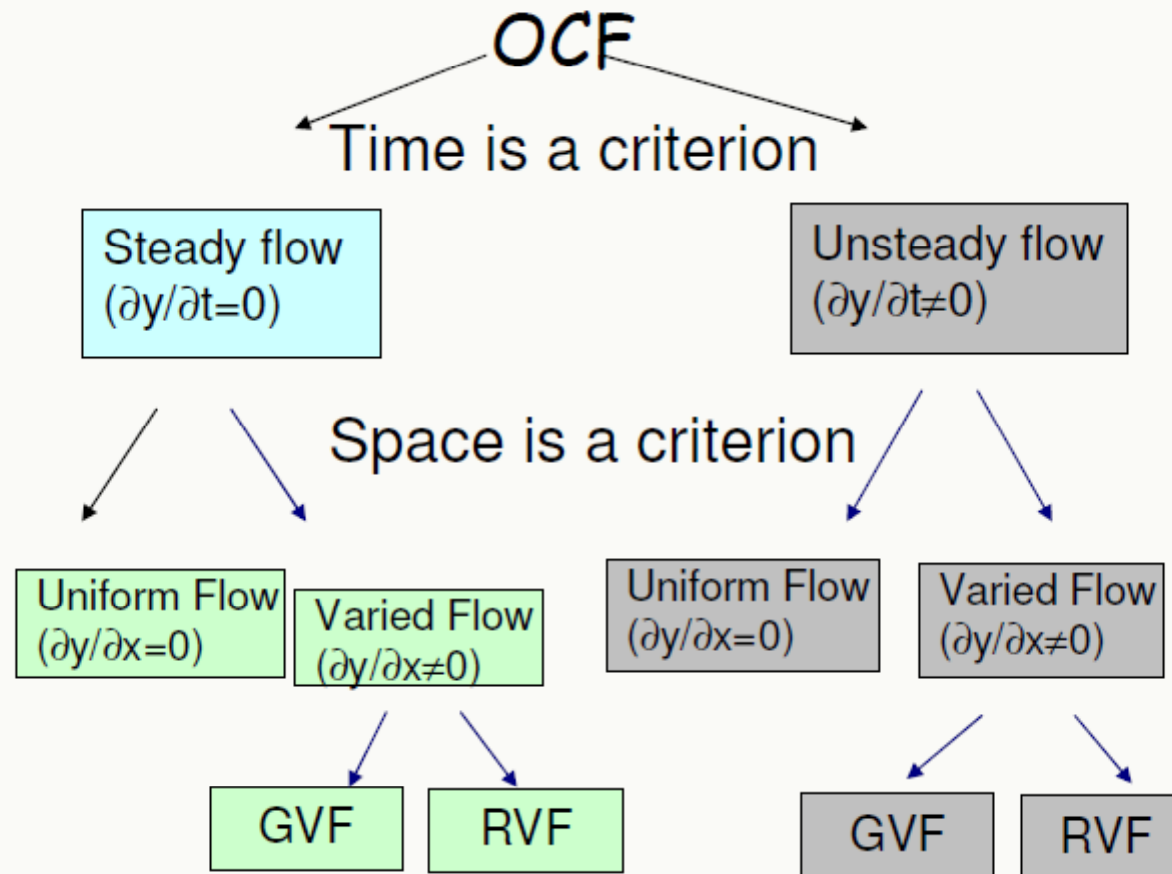
Ομοιόμορφη ροή: σταθερό βάθος ροής
(άρα και ταχύτητα)

Βραδέως μεταβαλλόμενη ροή:
χαρακτηρίζεται από αργή μεταβολή προφίλ
(«ημί-ομοιόμορφη ροή»)

Ταχέως μεταβαλλόμενο προφίλ της
ελεύθερης επιφανείας στη ταχέως
μεταβαλλόμενη ροή

Types of Flow

- Criterion: Change in flow depth with respect to time and space



Σχηματικά, η διάκριση των ειδών ροής φαίνεται στο παρακάτω Διάγραμμα:

ΣΤΑΘΕΡΗ		ΑΣΤΑΘΗΣ	
ΣΤΑΘΕΡΗ ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΗ		ΑΣΤΑΘΗΣ ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΗ (σπάνια)	
ΣΤΑΘΕΡΗ ΑΝΟΜΟΙΟΜΟΡΦΗ		ΑΣΤΑΘΗΣ ΑΝΟΜΟΙΟΜΟΡΦΗ	
ΒΑΘΜΙΑΙΑ ΜΕΤΑΒΛΛΟ- ΜΕΝΗ	ΑΠΟΤΟΜΑ ΜΕΤΑΒΑΛΛΟ- ΜΕΝΗ	ΒΑΘΜΙΑΙΑ ΜΕΤΑΒΑΛΛΟ- ΜΕΝΗ	ΑΠΟΤΟΜΑ ΜΕΤΑΒΑΛΛΟ- ΜΕΝΗ

Προσέγγιση (Μόνιμη) Ομοιόμορφης ροής

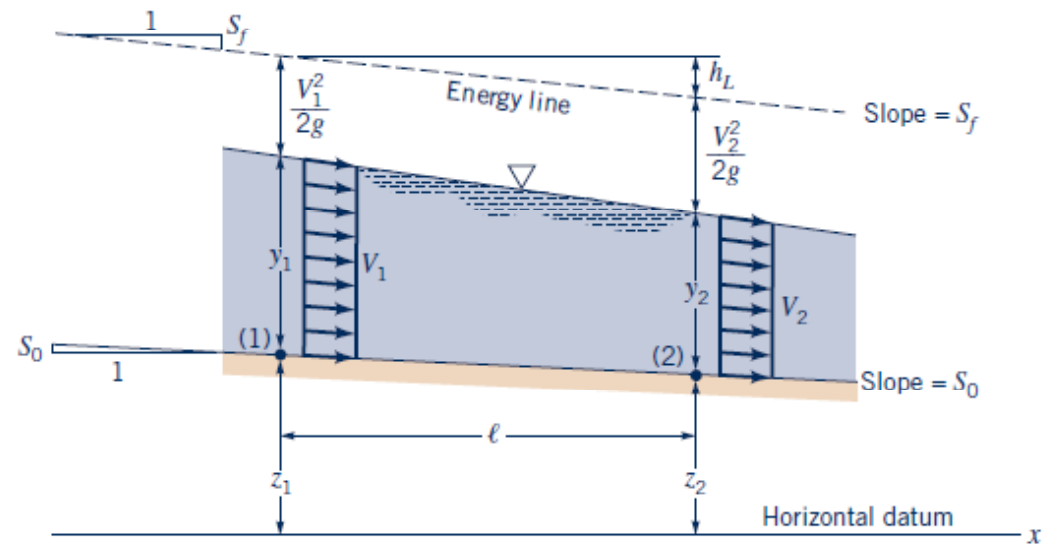
Προϋποθέσεις

- Ισορροπία δυνάμεων
- Μη μεταβολή της διατομής
- Μη μεταβολή της τραχύτητας των στερεών ορίων



Uniform flow

Ομοιόμορφη



■ Figure 10.6 Typical open-channel geometry.

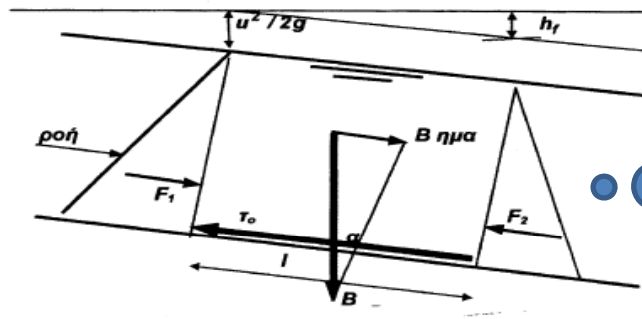
ανομοιόμορφη ροή

Προσέγγιση (Μόνιμη) Ομοιόμορφης ροής

Προϋποθέσεις

- Ισορροπία δυνάμεων
- Μη μεταβολή της διατομής
- Μη μεταβολή της τραχύτητας των στερεών ορίων

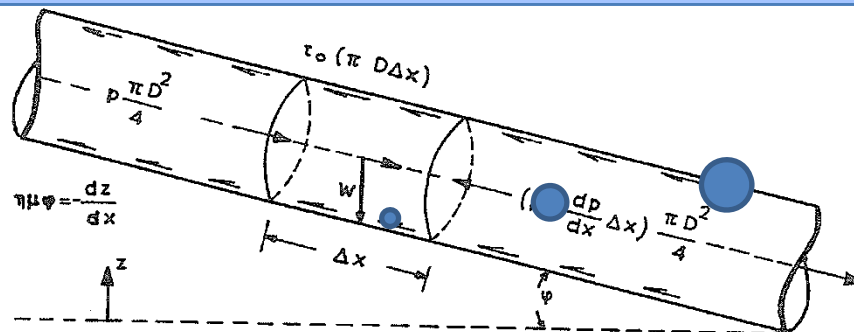
Μόνιμη Ομοιόμορφη ροή, ανοικτοί αγωγοί: Ομοιόμορφη ροή όταν το ύψος ροής παραμένει σταθερό που είναι ταυτόσημο με τη θεώρηση σταθερής ταχύτητας → β' νόμος του Νεύτωνα → άθροισμα δυνάμεων μηδέν, ισορροπία μεταξύ της οριζόντιας συνιστώσας του βάρους με τη δύναμη αντίσταση στη ροή λόγω τριβής



Σχήμα 4.1 Όγκος ελέγχου διά την απόδειξιν της εξισώσεως της ομοιόμορφου ροής

Εφόσον το ύψος ροής παραμένει το ίδιο (κανονικό βάθος ροής) και για υδροστατική κατανομή της πίεσης, οι δυνάμεις πίεσης στον όγκο ελέγχου αλληλοεξουδετερώνονται

Μόνιμη Ομοιόμορφη ροή, κλειστοί αγωγοί: Διατήρηση της ορμής σε κυκλικό αγωγό υπό πίεση με μόνιμη ροή, σταθερή διατομή → **σταθερή ταχύτητα (άρα για σταθερή διατομή έχω ομοιόμορφη ροή)**, β' νόμος του Νεύτωνα → άθροισμα δυνάμεων μηδέν, ισορροπία μεταξύ των δυνάμεων πίεσεως και βάρους με τη δύναμη αντίσταση λόγω τριβής (για οριζόντιο αγωγό ισορροπία μεταξύ δυνάμεων τριβής και πίεσεως)



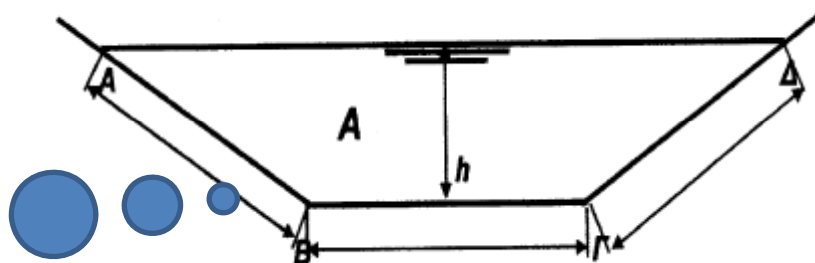
Απειροστός όγκος ελέγχου, η πίεση σταθερή σε όλο το ύψος της διατομής, διαφέρει κατά τον άξονα της ροής από θέση σε θέση

Διατμητική τάση, ανοικτή αγωγοί, ομοιόμορφη ροή

Εάν η μέση διατμητική τάσις η επενεργούσα εις τα τοιχώματα είναι $\tau_o (N/m^2)$, τότε η ολική δύναμις $F_o (N)$ δίδεται υπό του γινομένου τ_o επί του εμβαδού της επιφανείας επί της οποίας ενεργεί, δηλαδή,

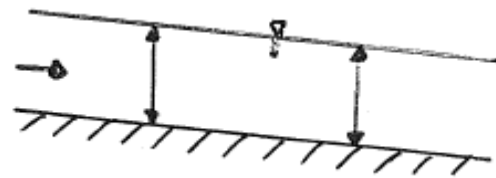
$$F_o = \tau_o P l \quad (4.1)$$

Σχόλιο:
Όλη η βρεχόμενη περίμετρος συνυπολογίζεται κατά τον προσδιορισμό της δύναμης λόγω τριβών



Σχήμα 4.2 Υγρά διατομή A , βρεχόμενη περίμετρος P και υδραυλική ακτίς R

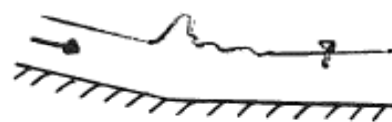
Ομοιόμορφη : Ταχύτητα του νερού σταθερή,
βάθος νερού σταθερό
από διατομή σε διατομή \Rightarrow
Επιφάνεια νερού παράλληλη προς τον
πυθμένα



Ανομοιόμορφη : Μεταβαλλόμενο βάθος από διατομή
σε διατομή \Rightarrow
Επιφάνεια νερού μη παράλληλη προς
τον πυθμένα



Βαθμιαία μεταβολή



Ταχεία (απότομη) μεταβολή

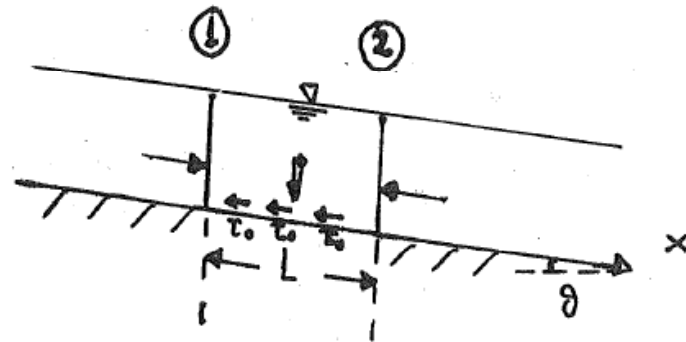
Ακόμη και αν η
ροή είναι
μόνιμη υπάρχει
συνισταμένη
δύναμη που
προκαλεί
χωρική
διαφοροποίηση
της ροής

3. ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΗ ΡΟΗ

- Κινούσα δύναμη: συνιστώσα της βαρύτητας κατά τη διεύθυνση του άξονα του αγωγού
- Αντίθετες δυνάμεις: τριβές στον πυθμένα και στην ελεύθερη επιφάνεια του νερού με τον αέρα
- Όταν ο αγωγός είναι πρισματικός και αρκούντως μεγάλου μήκους και η παροχή είναι σταθερή, τότε η κινούσα δύναμη εξισορροπείται από τις αντιθέσεις και δεν υπάρχει επιτάχυνση σε καμία διατομή του αγωγού.
- Τα υδραυλικά στοιχεία της ροής (βάθος και μέση ταχύτητα) παραμένουν σταθερά κατά μήκος του αγωγού \Rightarrow ομοιόμορφη ροή, κανονικό βάθος ροής

Εξίσωση Manning: από ισορροπία δυνάμεων και...

ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ για την ταχύτητα



- Ισορροπία δυνάμεων κατά τον άξονα x
- Οι υδροστατικές δυνάμεις αλληλοαναιρούνται

$$mg \sin \theta = \tau_0 L P \Rightarrow \tau_0 = mg \sin \theta \frac{1}{LP} = mg S_0 \frac{R}{LA} = \frac{m}{LA} g R S_0$$

$$\tau_0 = \rho g R S_0$$

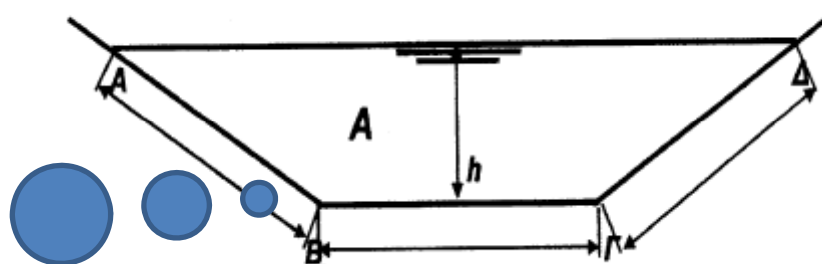
$$\sin \theta \approx \tan \theta = S_0$$

Διατμητική τάση, ανοικτή αγωγοί, ομοιόμορφη ροή

Εάν η μέση διατμητική τάσις η επενεργούσα εις τα τοιχώματα είναι $\tau_o (N/m^2)$, τότε η ολική δύναμις $F_o (N)$ δίδεται υπό του γινομένου τ_o επί του εμβαδού της επιφανείας επί της οποίας ενεργεί, δηλαδή,

$$F_o = \tau_o P l \quad (4.1)$$

Σχόλιο:
Όλη η βρεχόμενη
περίμετρος
συνυπολογίζεται
κατά τον
προσδιορισμό
της δύναμης
λόγο τριβών



Σχήμα 4.2 Υγρά διατομή A , βρεχόμενη περίμετρος P και υδραυλική ακτίς R

Διατμητική τάση πυθμένα τ_0

Συνθήκη ισορροπίας δυνάμεων :

$$W_{\eta\mu\alpha} = \tau_0 P \ell$$

$$A \ell \rho g \eta\mu\alpha = \tau_0 P \ell$$

$$\tau_0 = \frac{A}{P} \rho g \eta\mu\alpha$$

$$\eta\mu\alpha = \frac{h \ell}{\ell} = S_0$$

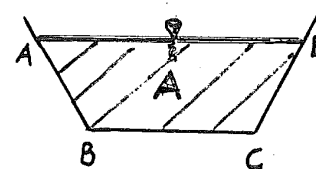
$$\tau_0 = \frac{A}{P} \rho g S_0$$

$$\tau_0 = \rho g R S_0$$

P : βρεχομένη περίμετρος

A : υγρή διατομή (επιφάνεια)

$$R = \frac{A}{P} \Rightarrow \text{υδραυλική ακτίνα}$$



$$P = (AB) + (BC) + (CD)$$

Συνδυασμός σχέσεων για τον προσδιορισμό της ταχύτητας

- Ισχύει:

$$\tau_0 = \frac{1}{2} \left(\frac{f}{4} \right) \rho V^2$$

Διατμητική τάση στο πυθμένα ανάλογη του τετραγώνου της ταχύτητας

- Επομένως

$$\rho g R S_0 = \frac{1}{2} \left(\frac{f}{4} \right) \rho V^2 \Leftrightarrow$$

$$V = \sqrt{\frac{8}{f} g R S_0} = \left(\sqrt{\frac{8}{f} g} \cdot \right) R^{1/2} S_0^{1/2}$$

Εξίσωση Chezy

- Ταχύτητα ροής:

$$V = C \cdot R^{1/2} \cdot S_0^{1/2}, \quad \text{όπου} \left(\sqrt{\frac{\delta}{f} g} \right)^{\text{op}} = C \quad \left(\sqrt{\frac{\delta}{f} g} \right)$$

C : συντελεστής του Chezy

f = συνάρτ. $(Re, \frac{\kappa}{R})$

C = συνάρτ. $(Re, \frac{\kappa}{R})$

κ : τραχύτητα των τοιχωμάτων

$\frac{\kappa}{R}$: σχετική τραχύτητα

Chezy → Manning (ευρεία χρήση + εφαρμογή σε ασκήσεις)

- Ο Manning, 1891 πρότεινε για την σταθερά του Chezy:

$$\frac{R^{1/6}}{n} = C$$

- Οπότε η εξίσωση του Chezy θα γίνει τότε:

Εξίσωση Manning

$$u = \frac{1}{n} R^{2/3} S_0^{1/2}$$

$$C = \frac{R^{1/6}}{n}$$

n : συντελεστής Manning $\left[\frac{T}{L^{1/3}} \right]$

(από πίνακες ανάλογα με την τραχύτητα)

$K_{ST} = \frac{1}{n}$ (γερμανική βιβλιογραφία)

Λόγω της συσσωρευμένης εμπειρίας όμως, περισσότερο δημοφιλής είναι η απλοποιημένη σχέση, η οποία αποδίδεται στον R. Manning και γι' αυτό ονομάζεται και τύπος του Manning:

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S_0^{1/2} \quad (3.9)$$

όπου: n = ο συντελεστής τραχύτητας γνωστός ως συντελεστής Manning, με διαστάσεις $(s/m^{1/3})$, ο οποίος αποτελεί έκφραση της τραχύτητας του στερεού ορίου και συνδέεται με το συντελεστή f των Darcy - Weisbach με τη σχέση:

$$f = (8gn^2)/R^{1/3} \quad (3.10)$$

Οι τιμές του συντελεστή n λαμβάνονται από πίνακες που έχουν δημοσιευθεί σε πληθώρα βιβλίων. Ο Πίνακας 3.2 παρουσιάζει τις τιμές του συντελεστή n για μια σειρά υλικά από τα οποία αποτελείται ο ανοικτός αγωγός. Σημειώνεται ότι επειδή ο συντελεστής n δεν είναι αδιάστατος αριθμός, κατά τη χρήση του τύπου Manning η ταχύτητα πρέπει να εκφράζεται σε m/s, η υδραυλική ακτίνα σε m και η παροχή σε m³/s.

Το γεγονός ότι εδώ η ροή πραγματοποιείται με ελεύθερη επιφάνεια έχει ως αποτέλεσμα η υγρή διατομή, A , να εξαρτάται εκτός από τη γεωμετρία της διατομής και από τη θέση της ελεύθερης επιφάνειας, δηλαδή σε σχέση με τη ροή σε κλειστούς αγωγούς υπό πίεση υπάρχει ένα επιπλέον άγνωστο μέγεθος που πρέπει να υπολογιστεί.

Ο υπολογισμός του ομοιομόρφου βάθους, y_0 , γίνεται με χρήση της εξίσωσης Manning και της εξίσωσης συνέχειας, άρα:

$$Q = (1/n) AR^{2/3} S_0^{1/2} \quad (3.11)$$

Αν είναι γνωστά: η παροχή Q (m³/s), η γεωμετρία του αγωγού, ο συντελεστής n και η κατά μήκος κλίση S_0 , τότε:

$$AR^{2/3} = (nQ)/S_0^{1/2} = \text{γνωστό} \quad (3.12)$$

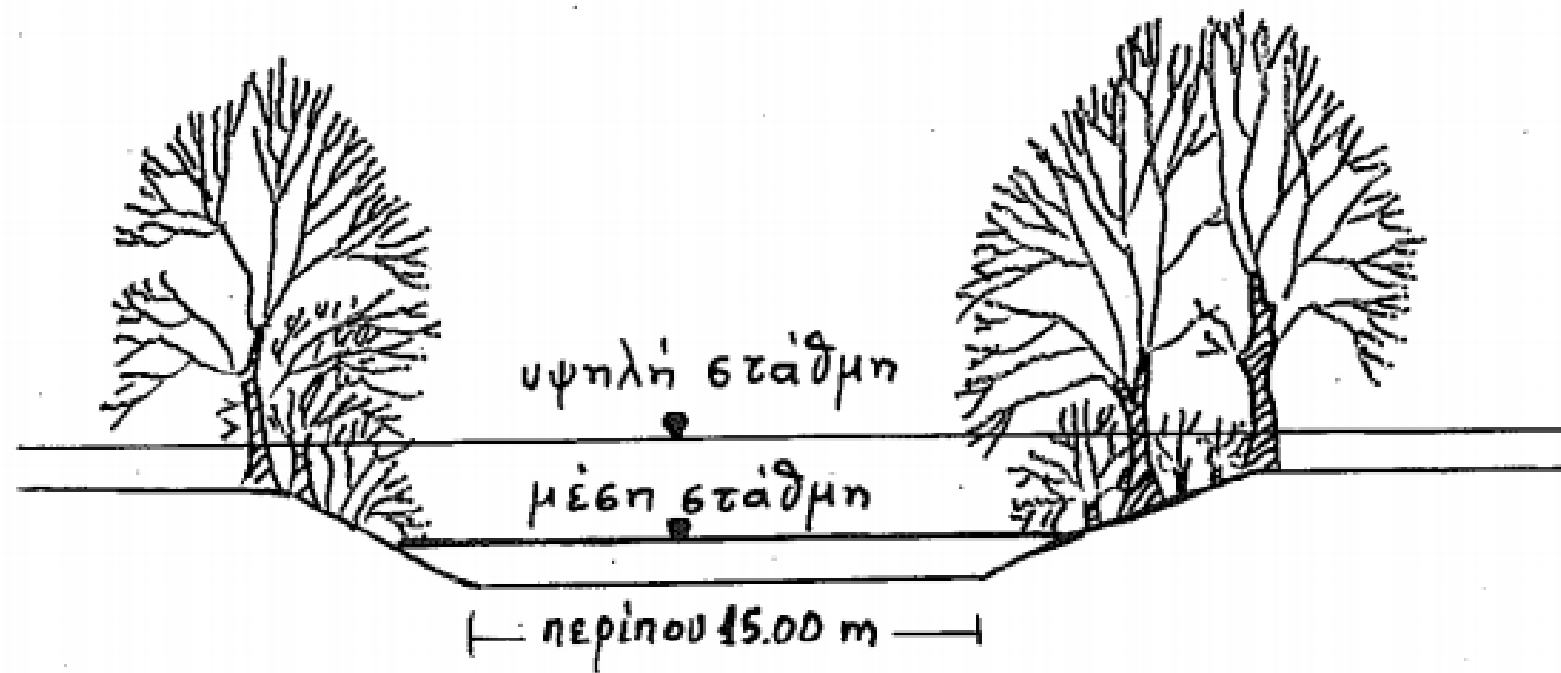
Τσακίρης, 2015

Πίν. 3.2: Συντελεστές Manning n για διάφορα υλικά

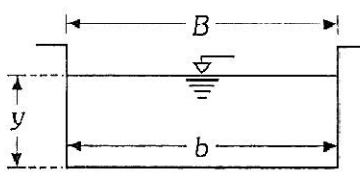
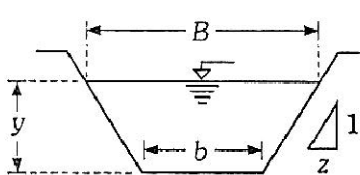
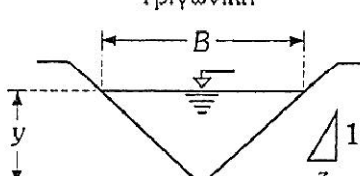
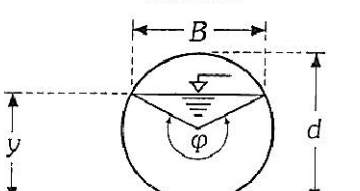
Μέταλλο λείο	0.011 - 0.015
Μέταλλο, αυλακωτό	0.023 - 0.025
Ξύλο, κατεργασμένο	0.010 - 0.015
Ξύλο, ακατέργαστο	0.011 - 0.015
Τσιμέντο λείο	0.010 - 0.013
Σκυρόδεμα	0.014 - 0.016
Τσιμεντοχάλικο	0.017 - 0.030
Γρασίδι	$0 > 0.020$

Μεταβλητό η

Φυτοκάλυψη πρανών και οχθών ενός ποταμού



Πίν. 3.1: Γεωμετρικά στοιχεία αγωγών

Διατομή	Επιφάνεια A	Βρεχ. περίμετρος P	Υδραυλική ακτίνα $R = A/P$	Πλάτος ελεύθερης επιφάνειας B	Υδραυλικό βάθος $y_u = A/B$	Αριθμός Froude F
<p>Ορθογωνική</p> 	by	$b + 2y$	$\frac{by}{b + 2y}$	b	y	$\sqrt{\frac{Q^2}{b^2 y^3 g}}$
<p>Τραπεζοειδής</p> 	$(b + zy)y$	$b + 2y\sqrt{1 + z^2}$	$\frac{(b + zy)y}{b + 2y\sqrt{1 + z^2}}$	$b + 2zy$	$\frac{(b + zy)y}{b + 2zy}$	$\sqrt{\frac{(b + 2zy)Q^2}{(b + zy)^3 y^3 g}}$
<p>Τριγωνική</p> 	zy^2	$2y\sqrt{1 + z^2}$	$\frac{zy}{2\sqrt{1 + z^2}}$	$2zy$	$\frac{y}{2}$	$\sqrt{\frac{2Q^2}{z^2 y^5 g}}$
<p>Κυκλική</p> 	$\frac{d^2}{8}(\varphi - \sin\varphi)$	$d \frac{\varphi}{2}$	$\frac{d}{4} \left(1 - \frac{\sin\varphi}{\varphi}\right)$	$d \left(\sin \frac{\varphi}{2}\right)$ ή $2\sqrt{y(d-y)}$	$\frac{d}{8} \left\{ \frac{\varphi - \sin\varphi}{\sin \frac{\varphi}{2}} \right\}$	$\sqrt{\frac{512Q^2 \sin \left(\frac{\varphi}{2}\right)}{gd^5(\varphi - \sin\varphi)^3}}$

Αδιαστατοποίηση των παραμέτρων ροής

- Σκοποί της αδιαστατοποίησης:

- (α) Μείωση των μεταβλητών ενός προβλήματος
- (β) Πινακοποίηση του προβλήματος

- Σχεδιασμός ομοιόμορφης ροής:

Δίδεται η παροχή Q , η κλίση του πυθμένα S_0 και ο συντελεστής τραχύτητας n .

Ζητούνται οι διαστάσεις του αγωγού

που εμπεριέχονται στη συνάρτηση αγωγιμότητας $f_n(y) = AR^{2/3}$

Τραπεζοειδής διατομή

- Για τραπεζοειδή διατομή:

$$A = y(b + my) \quad P = b + 2y\sqrt{1+m^2} \quad R = A/P$$

y : βάθος ροής

b : πλάτος πυθμένα

m : κλίση πρανών

- Η συνάρτηση αγωγιμότητας f_n είναι συνάρτηση των y , b και m ,

καθόσον $f_n = AR^{2/3}$

- Αδιαστατοποίηση με το πλάτος πυθμένα b_0

- Αντί των τριών μεταβλητών b , y και m , έχουμε δύο,

τις $\bar{y} = y/b_0$ και m

Επίλυση με πίνακες τραπεζοειδής διατομή (1)

- Αδιάστατη συνάρτηση αγωγιμότητας $\bar{f}_n(\bar{y})$

$$\bar{f}_n(\bar{y}) = \bar{A} \bar{R}^{2/3} = \frac{A}{b_0^2} \frac{R^{2/3}}{b_0^{2/3}} = \frac{f_n}{b_0^{8/3}}$$

$$\bar{f}_n = \frac{f_n}{b_0^{8/3}}$$

Συνάρτηση μόνο των γεωμετρικών στοιχείων

$$Q = \frac{A}{n} R^{2/3} S_0^{1/2} = AR^{2/3} \frac{S_0^{1/2}}{n} = f_n \frac{\sqrt{S_0}}{n} = b_0^{8/3} \bar{f}_n \frac{\sqrt{S_0}}{n}$$

$$Q = b_0^{8/3} \bar{f}_n \frac{\sqrt{S_0}}{n}$$

$$\rightarrow \bar{f}_n = \frac{Q \cdot n}{S_0^{1/2} b_0^{8/3}}$$

Επίλυση με πίνακες τραπεζοειδής διατομή (2)

$$\bar{f}_n = \frac{Q \cdot n}{S_0^{1/2} b_0^{8/3}}$$

- Επίλυση με πίνακες, **βάθος ομοιόμορφης ροής**, δοκιμή για διάφορα πλάτη

Υπολογισμός των διαστάσεων του τμήματος $A - B$

b [m]	\bar{f}_n	\bar{y}_n	y_n [m]	A [m ²]	B [m]	P [m]	V [m/s]	b/y_n
2.0	2.5417	1.2154	2.431	13.725	9.29	10.76	2.222	0.823
2.5	1.4019	0.9229	2.307	13.753	9.42	10.82	2.218	1.084
3.0	0.8621	0.7312	2.194	13.799	9.58	10.91	2.210	1.368
3.5	0.5715	0.5970	2.090	13.862	9.77	11.03	2.200	1.675
4.0	0.4003	0.4985	1.994	13.940	9.98	11.19	2.188	2.006
4.5	0.2924	0.4236	1.906	14.028	10.22	11.37	2.174	2.361
5.0	0.2208	0.3652	1.826	14.131	10.48	11.58	2.158	2.738
5.5	0.1712	0.3187	1.753	14.249	10.76	11.82	2.140	3.138
6.0	0.1358	0.2809	1.685	14.373	11.06	12.08	2.122	3,560

Επειδή η παροχή είναι σχετικά μεγάλη (βλ. § 3.2.2), $b/y_n > 3$, άρα:

$$b = 5.5 \text{ m} \quad \text{και} \quad y_n = 1.75 \text{ m}$$

Η αδιαστατοποίηση της συνάρτησης αγωγιμότητας με σταθερά αδιαστατοποίησης το πλάτος πυθμένα μειώνει τον αριθμό των μεταβλητών παραμέτρων από τρεις σε δύο ήτοι αντί των b, y, m τις $\bar{y} = y/b$ και m .

Η Εξ. (3.9) γίνεται

$$\bar{f}_n(\bar{y}) = \bar{A}\bar{R}^{2/3} = \frac{A}{b^2} \frac{R^{2/3}}{b^{2/3}} = \frac{f_n}{b^{8/3}} \quad (3.11)$$

ΓΙΑΤΙ ΜΕ ΠΙΝΑΚΕΣ?

$$\bar{P} = \frac{(b + 2y\sqrt{1+z^2})}{b} = 1 + 2\bar{y}\sqrt{1+z^2},$$

$$\bar{A} = \frac{A}{b^2} = \frac{y(b + zy)}{b^2} = \bar{y}(1 + z\bar{y})$$

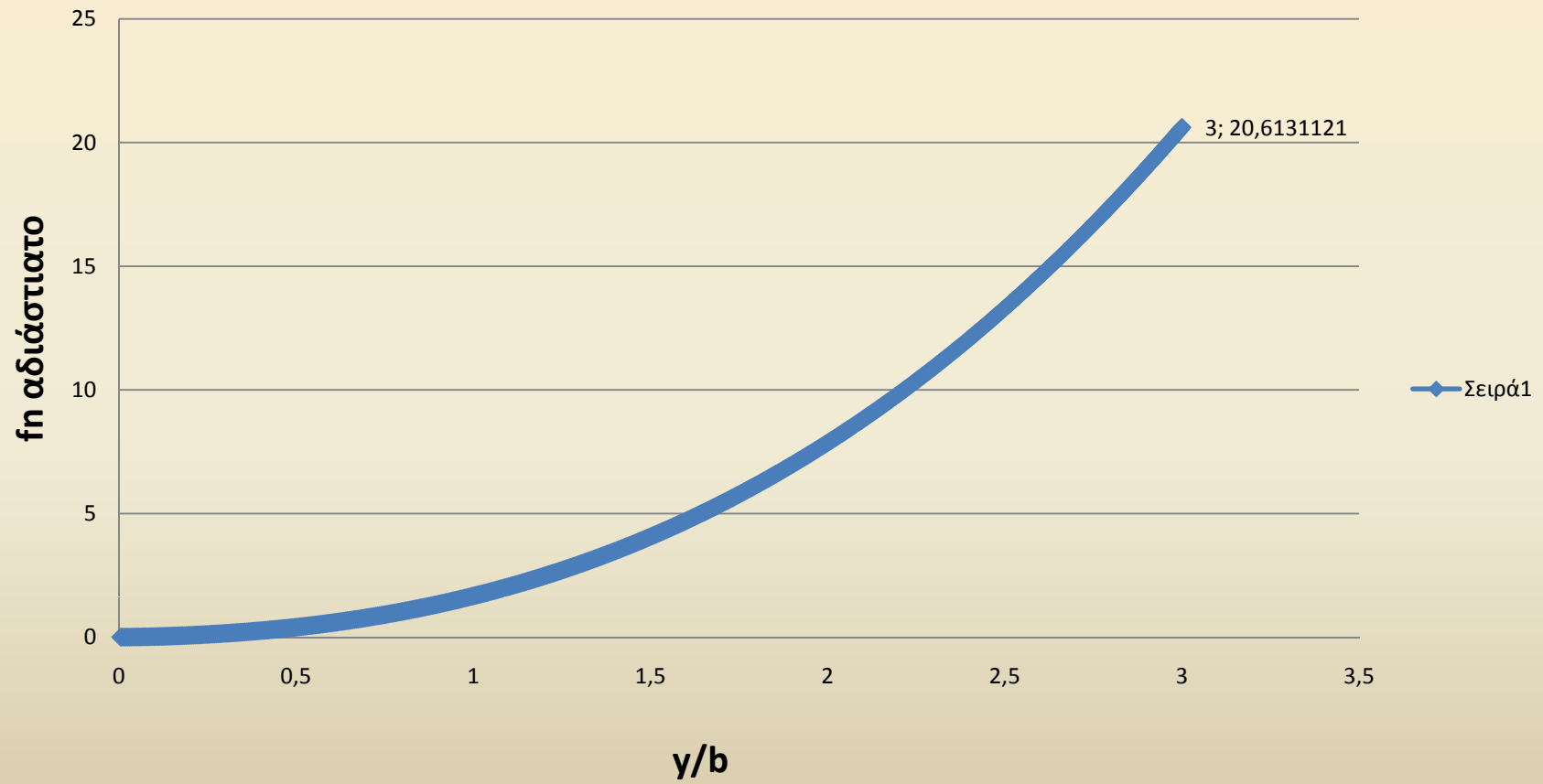
$$\begin{aligned} \bar{A}\bar{R}^{2/3} &= \frac{A}{b^2} \left(\frac{A}{b^2}\right)^{2/3} \left(\frac{P}{b}\right)^{-2/3} = \bar{y}(1 + z\bar{y}) \cdot [\bar{y}(1 + z\bar{y})]^{2/3} \cdot (1 + 2\bar{y}\sqrt{1+z^2})^{-2/3} = \\ & (1 + 2\bar{y}\sqrt{1+z^2})^{-2/3} (\bar{y}(1 + z\bar{y}))^{5/3} \end{aligned}$$

m	
1,5	
y/b	fn αδιαστα
0,005	0,000146
0,01	0,000465
0,015	0,000914
0,02	0,001478
0,025	0,002146
0,03	0,002911
0,035	0,003768
0,04	0,004713
0,045	0,005743
0,05	0,006854
0,055	0,008046
0,06	0,009317
0,065	0,010664
0,07	0,012086

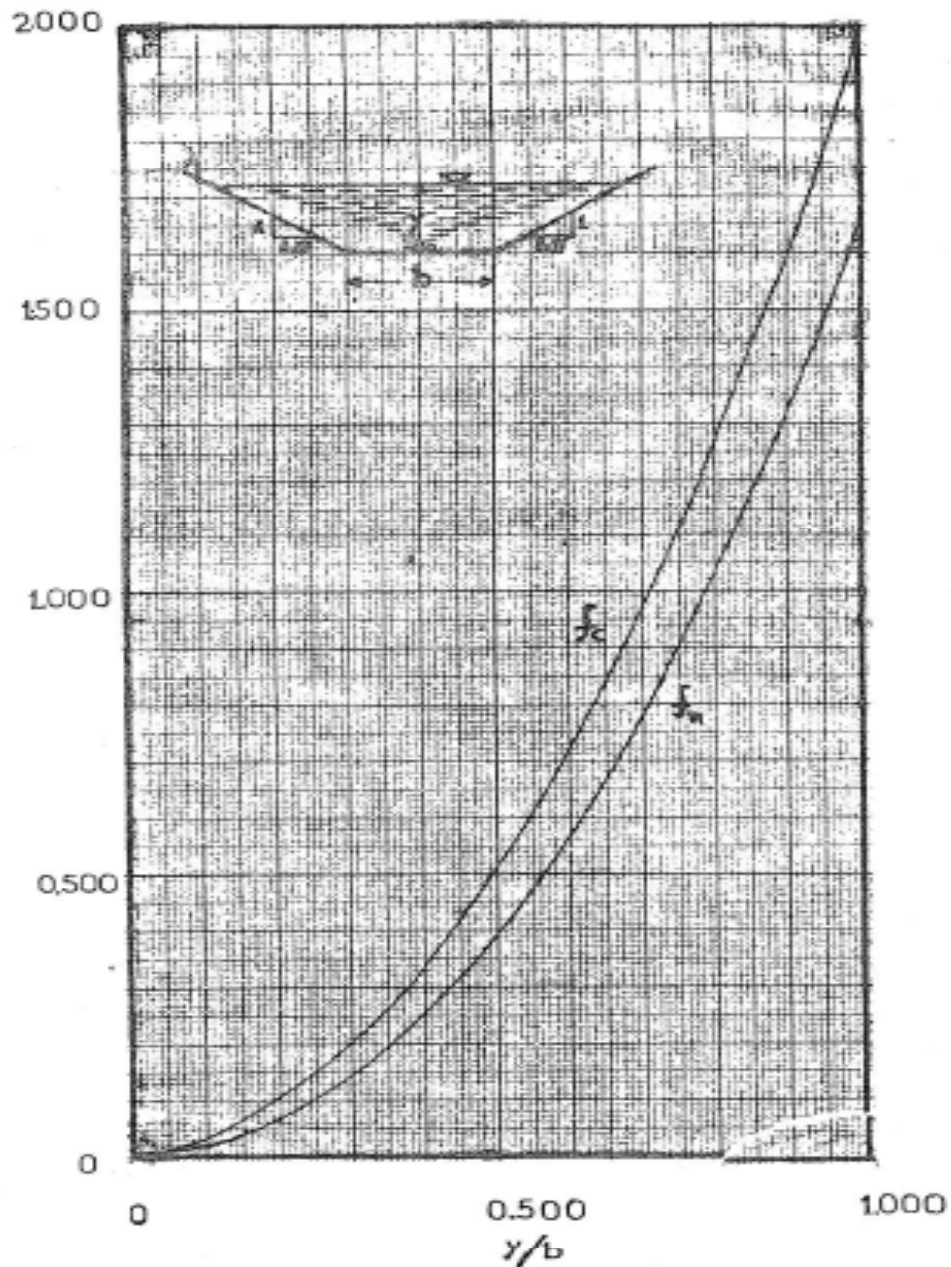
Για διάφορες τιμές του αδιάστατου y/b , που «αυθαίρετα» υποθέτω με βάση την προηγούμενη σχέση προσδιορίζω τους πίνακες

$$\bar{A}\bar{R}^{2/3} = \left(1 + 2\bar{y}\sqrt{1+z^2}\right)^{-2/3} \left(\bar{y}(1+z\bar{y})\right)^{5/3}$$

m=1.5



$$f_h = A R^{3/2} = \frac{Q \pi}{b^{3/2} \sqrt{50}}$$



Σκ. Β.

Συναρτήσεις αγωγιμότητας και κρίσιμης ροής τρα-
πεζοειδούς διατομής $m = 1.5:1$

Διάγραμμα

$$f_c = A \sqrt{A} = \frac{Q}{b^{3/2} \sqrt{g}}$$

Εναλλακτικά, προσεγγιστικές σχέσεις από διεθνή βιβλιογραφία

6.8.2 Τραπεζοειδής Διατομή

(α) Η σχέση αυτή έχει προταθεί από τους Swamee και Rathie (2004).

Χρησιμοποιώντας την εξίσωση Manning με $A = h_n(B + zh_n)$ και $P = B + 2h_n\sqrt{1+z^2}$ προέκυψε η σχέση

$$\frac{z^{5/3} Q_n}{B^{8/3} \sqrt{S}} = \frac{[z\beta_n(1+z\beta_n)]^{5/3}}{(1+2\beta_n\sqrt{1+z^2})^{2/3}},$$

όπου β_n το αδιάστατο ομοιόμορφο βάθος.

Στη συνέχεια, ακολουθώντας παρόμοια διαδικασία όπως και για την σχέση (6.40) κατέληξαν στην παρακάτω σχέση:

$$\begin{aligned} \frac{B}{h_n} = & \frac{0.84090z^{5/4}}{(1+z^2)^{1/8} P_b^{3/8}} - \frac{0.08839z^{3/2}(z-5\sqrt{1+z^2})}{(1+z^2)^{3/4} P_b^{3/4}} + \\ & + \frac{0.00465z^{7/4}(35+42z^2-30z\sqrt{1+z^2})}{(1+z^2)^{11/8} P_b^{9/8}} + \\ & + \frac{0.00781z^{1/2}[5+20z^2+15z^4-z(15+17z^2)\sqrt{1+z^2}]}{(1+z^2)^{5/2} P_b^{3/2}} + \dots \end{aligned} \quad (6.43)$$

όπου: $P_b = \frac{z^{5/3} Q_n}{B^{8/3} \sqrt{S}}$.

Επιλογή διατομής

Για οικονομοτεχνικά κριτηρια είναι η μεγιστη αγωγιμοτητα για ενα συγκεκριμένο εμβαδόν διατομής. Η οικονομικότερη θεωρητικά διατομή προκύπτει ότι είναι η διατομή σχήματος κανονικού ημιεξαγώνου, ωστόσο για λόγους τεχνικούς στην πράξη προτιμούνται διατομές με μεγαλύτερες τιμές του λόγου b/y_n .

Για μικρούς αγωγούς $b/y_n \sim 1$

Για αγωγού μεσαίου μεγέθους $b/y_n \sim 1-3$

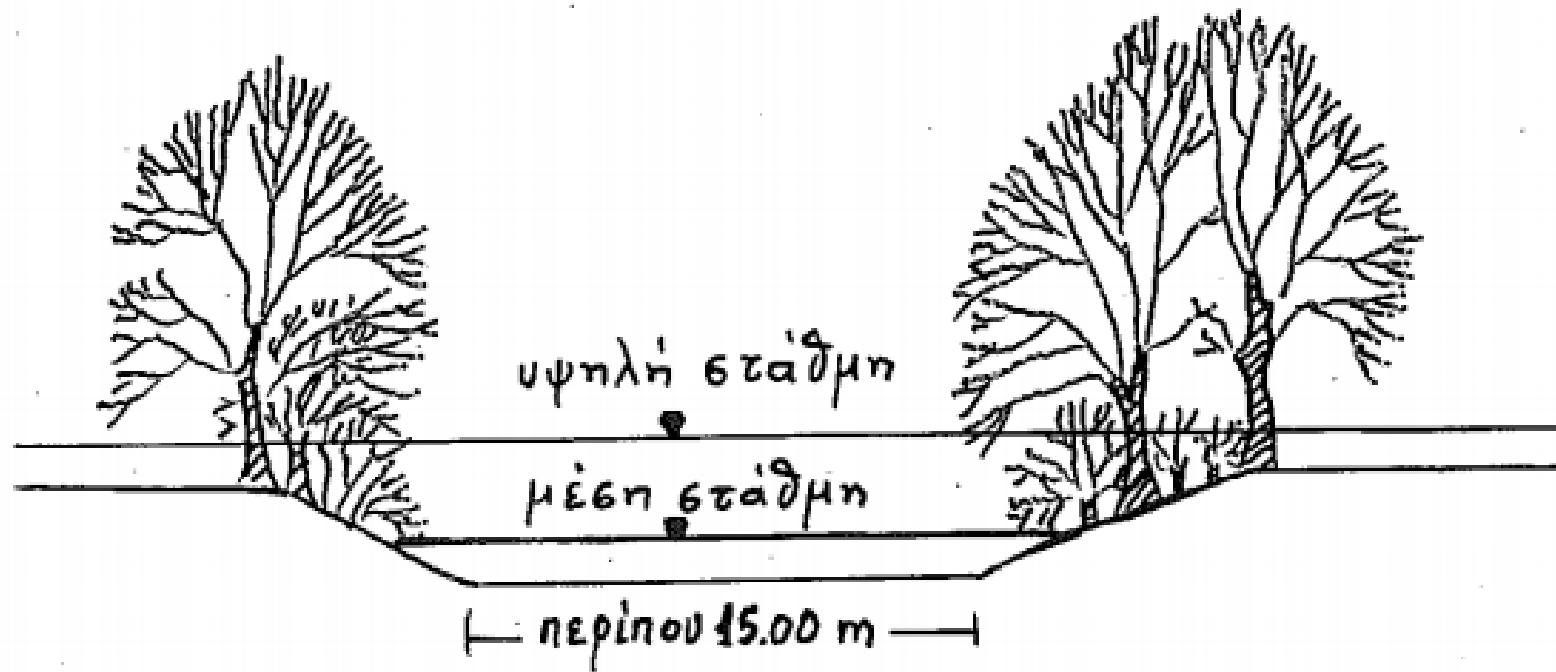
Για μεγάλους αγωγούς $b/y_n > 3$

ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑ

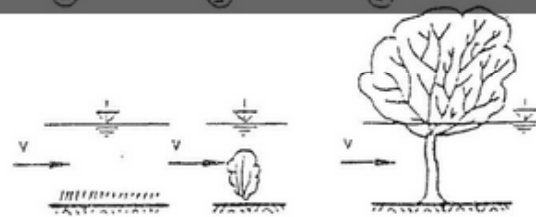
Μεταβλητό η

Ποτάμια υδραυλική

Φυτοκάλυψη πρανών και οχθών ενός ποταμού



Χρυσάνθου, 2014



γεωμετρική
βλάστηση
 $K_s = \frac{i}{h}$

Σχήμα 4.1 : Χαμηλή (a), μέση (b) και υψηλή (c) βλάστηση

Η χαμηλή βλάστηση μπορεί να περιγραφεί επαρκώς με την τιμή του μέτρου τραχύτητας k_s . Στην υψηλή βλάστηση, το ύψος της h_p είναι μεγαλύτερο του βάθους ροής h . Τρεις παράμετροι χρησιμοποιούνται για τη γεωμετρική περιγραφή της βλάστησης (Σχ. 4.2):

- a_x : απόσταση των φυτών κατά τη διεύθυνση της ροής
- a_y : απόσταση των φυτών κάθετα προς τη διεύθυνση της ροής
- d_p : πλάτος των φυτών κάθετα προς τη διεύθυνση της ροής

Ο συντελεστής αντίστασης (ή τριβής) λ_p για μια ομάδα φυτών, που διαρρέεται από το νερό, υπολογίζεται με τη βοήθεια της σχέσης

$$\lambda_p = \frac{4 A_p}{a_x a_y} C_{WR}$$

Χρονιά 2014

(4.7)

A_p : επιφάνεια φυτού που αντιστέκεται στην κίνηση του νερού
 $A_p = h d_p$

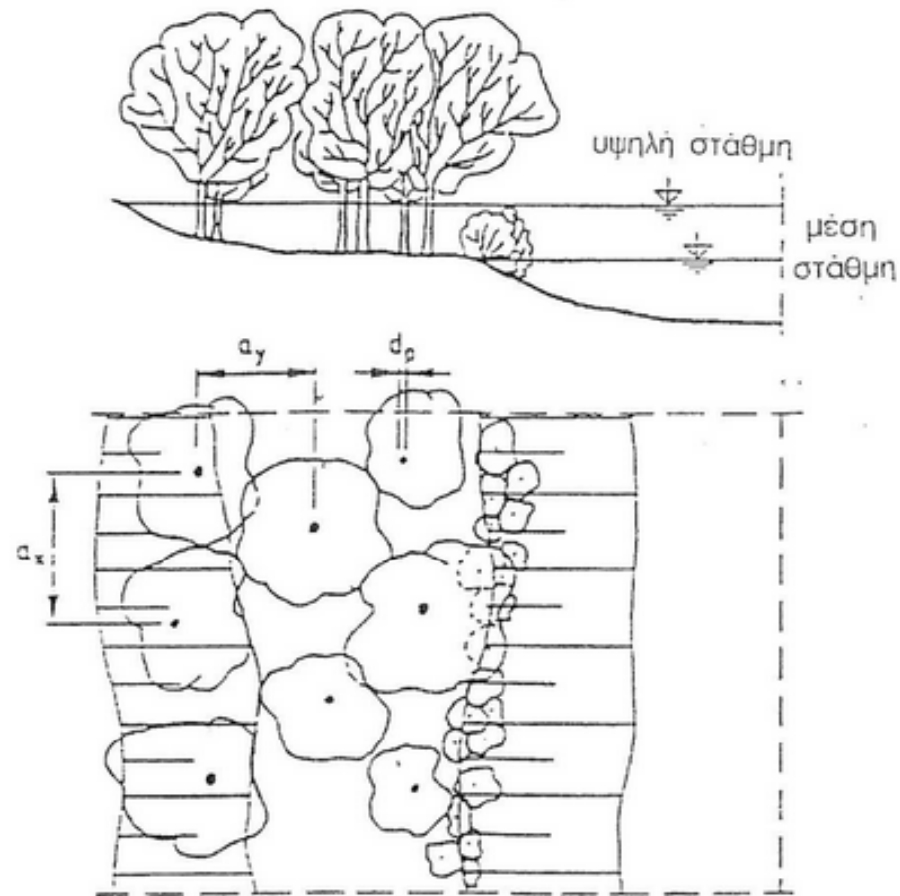
C_{WR} : παράμετρος αντίστασης της ομάδας φυτών.

Οι τιμές της κυμαίνονται μεταξύ 0.6 και 2.4. Για προσεγγιστικούς υπολογισμούς συνιστάται η τιμή 1.5.

$\lambda = f$
(συμβολισμός)

Για τα μεγέθη a_x , a_y και d_p χρησιμοποιούνται μέσες τιμές.

Η αντίσταση στη ροή εκ μέρους της βλάστησης μέσου ύψους λαμβάνεται υπόψη είτε με τη μορφή του συντελεστή k_s είτε σύμφωνα με τα παραπάνω αναφερθέντα για την υψηλή βλάστηση.



Σχήμα 4.2: Γεωμετρικά στοιχεία ομάδας δένδρων

Ανοικτοί αγωγοί στρωμένοι με πετρώματα

Για κανάλια στρωμένα με βράχους όπως αυτά που εμφανίζονται σε κάποια φυσικά ρεύματα ή ανεπένδυτους αγωγούς, οι μεγαλύτεροι βράχοι είναι υπεύθυνοι για την παραγωγή του μεγαλύτερου ποσοστού της αντίστασης στη ροή και ουσιαστικά δεν υπάρχει αντίσταση που να οφείλεται στις επιδράσεις του ιζώδους. Επομένως, η παράγοντας τριβής είναι ανεξάρτητος από τον αριθμό Reynolds. Αυτό είναι ανάλογο με την πλήρως τραχεία περιοχή του διαγράμματος Moody για τη ροή σωλήνα. Για ένα κανάλι που είναι στρωμένο με βράχους, ο Limerinos (1) έχει δείξει πως ο συντελεστής τριβής f μπορεί να οριστεί συναρτήσει του μεγέθους του βράχου στο ρεύμα ως

$$f = \frac{1}{\left[1.2 + 2.03 \log\left(\frac{R_h}{d_{84}}\right)\right]^2} \quad (15.10)$$

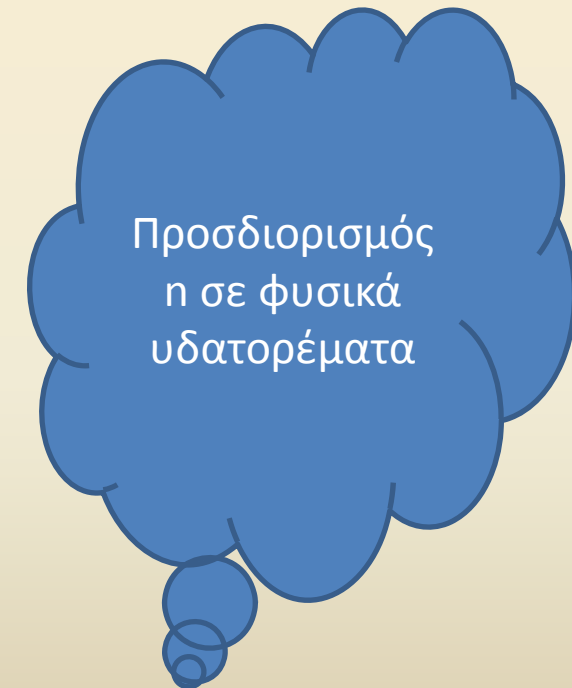
όπου d_{84} είναι ένα μέτρο του μεγέθους του βράχου¹.

¹Οι περισσότεροι βράχοι που υπάρχουν σε ποτάμια είναι κάπως ελλειπτικοί ως προς το σχήμα τους. Ο Limerinos (1) εοίσε πως η ενδιάμεση διάσταση d_{84} συσχετίζεται στον καλύτερο δυνατό βαθμό με το f . Το d_{84} αναφέρεται στη διάσταση του βράχου (ενδιάμεση διάσταση) για το οποίο το 84% των βράχων στο τυχαίο δείγμα, είναι μικρότερη σε μέγεθος από το d_{84} . Πληροφορίες για την επιλογή του δείγματος μπορούν να βρεθούν στην αναφορά Wolman (3).

Μία εναλλακτική μέθοδος για την επιλογή του συντελεστή η είναι η μέθοδος του Cowan (1956). Η μέθοδος περιλαμβάνει την επιλογή μιας αρχικής τιμής βά-

Πίνακας 6.3: Τιμές για τον προσδιορισμό του η με τη μέθοδο Cowan (1956).

Συνθήκες αγωγού			Τιμή
Υλικό	Χώμα	n ₀	0.02
	Βράχος		0.025
	Λεπτό Χαλίκι		0.024
	Χοντρό Χαλίκι		0.028
Βαθμός Ανομοιομορφίας	Ήπιος	n ₁	0.000
	Μέτριος		0.005
	Μέσος		0.010
	Σημαντικός		0.020
Μεταβολές στη διατομή	Βαθμιαίες	n ₂	0.000
	Εναλασσόμενες σπάνια		0.005
	Εναλασσόμενες συχνά		0.010 - 0.015
Επίδραση εμποδίων	Αμελητέα	n ₃	0.000
	Μικρή		0.010 - 0.015
	Μέση		0.025 - 0.050
	Μεγάλη		0.040 - 0.060
Βλάστηση	Χαμηλή	n ₄	0.005 - 0.010
	Μέση		0.010 - 0.025
	Υψηλή		0.025 - 0.050
	Πολύ Υψηλή		0.050 - 0.1
Βαθμός μαιανδρισμού	Μικρός	M ₅	1.000
	Μέσος		1.150
	Μεγάλη		1.300



ροής και του μαιανδρισμού του αγωγού. Με τη μέθοδο αυτής ή τιμή του n υπολογίζεται όπως

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4)M_5$$

όπου n_0 = βασική τιμή, n_1 = τιμή διόρθωσης λόγω διαφορετικής τραχύτητας στον πυθμένα και στα πρανή, n_2 = τιμή διόρθωσης για μεταβολή στο σχήμα και στο μέγεθος της διατομής κατά μήκος της ροής, n_3 = τιμή διόρθωσης για τυχόν εμπόδια που υπάρχουν στη διατομή (βράχοι, δέντρα κλπ), n_4 = τιμή διόρθωσης για τη βλάστηση και τις συνθήκες ροής, M_5 = τιμή διόρθωσης για τον μαιανδρισμό του αγωγού, που ορίζεται σαν ο λόγος του μήκους κατά μήκος του κεντρικού άξονα του αγωγού (μεταξύ δύο σημείων) ως προς το μήκος της ευθείας γραμμής που ενώνει τα δύο αυτά σημεία.

Στοιχεία για το σχεδιασμό

Υπολογισμός των γεωμετρικών στοιχείων κατασκευής του αχωχού

Κλίση του αχωχού

- Η κλίση του πυθμένα του αχωχού πρέπει να ακολουθεί κατά το δυνατόν την κλίση του φυσικού εδάφους.
- Ο πυθμένας πρέπει να τοποθετείται μέσα στο έδαφος και σε ανάλογο βάθος ώστε να επιτυγχάνεται ισοδύγιο εκκαφών και επιχωματώσεων σε κάθε τμήμα του αχωχού.

Πλάτος πυθμένα, βάθος ροής

- Η οικονομικότερη θεωρητικά διατομή είναι η διατομή εχήματος κανονικού ημιεξαγώνου.
- Στην πράξη προτιμώνται διατομές με μεγαλύτερες τιμές του λόγου b/y_n :
 - Για μικρούς αγωγούς, $b/y_n \approx 1$
 - Για αγωγούς μεσαίου μεγέθους, $b/y_n \approx 1-3$
 - Για μεγάλους αγωγούς, $b/y_n > 3$

Κλίση πραγών

- Πίνακας 3.1

Όρια ταχυτήτων ροής

- Κατά τον προσδιορισμό του λόγου b/y_n πρέπει να προσδιορίζονται τα όρια των ταχυτήτων ροής
- Πίνακας 3.3

Πίνακας 3.3

Επιτρεπόμενα όρια μεγίστων και ελαχίστων ταχυτήτων και κλίσεις πρανών
σε διάφορες περιπτώσεις ανοιχτών αγωγών

ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΕΣ ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ			
α/α	Σύσταση αρχικού υλικού κοίτης	Καθαρό νερό [m/s]	Νερό που μεταφέρει άμμο ή χαλίκια [m/s]
1	Λεπτή άμμος	0.45	0.45
2	Ιλυώδες έδαφος	0.60	0.60
3	Συμπαγής άργιλλος	0.75	0.70
4	Πολύ σκληρή άργιλλος	1.80	1.50
5	Λεπτά χαλίκια	0.75	1.15
6	Λίθοι	1.50	2.00
ΕΛΑΧΙΣΤΕΣ ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΕΣ ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ			
α/α	Σύσταση νερού	Ταχύτητα ροής [m/s]	
1	Νερά βορβορώδη	0.35-0.40	
2	Νερά που μεταφέρουν λεπτή άμμο	0.60-0.65	
3	Νερά πόσιμα	0.50-0.65	
4	Νερά στάσιμα που αποχετεύονται	0.65-0.80	

Πίνακας 3.1

Στοιχεία σχεδιασμού ανεπένδυτων ανοιχτών αγωγών

α/α	Σύσταση υλικού του πρανούς	Κλίση πρανούς m/l
1	Βράχος	0/1
2	Τυρφώδες έδαφος	0.25/1
3	Σκληρή άργιλλος	0.50/1 - 1/1
4	Γαίες επενδεδυμένες με λίθους για μεγάλους αγωγούς	1/1
5	Συμπαγής άργιλλος	1.50/1
6	Χαλαρό αμμώδες έδαφος	2/1

Περιθώριο ασφαλείας αναχώματος (f)

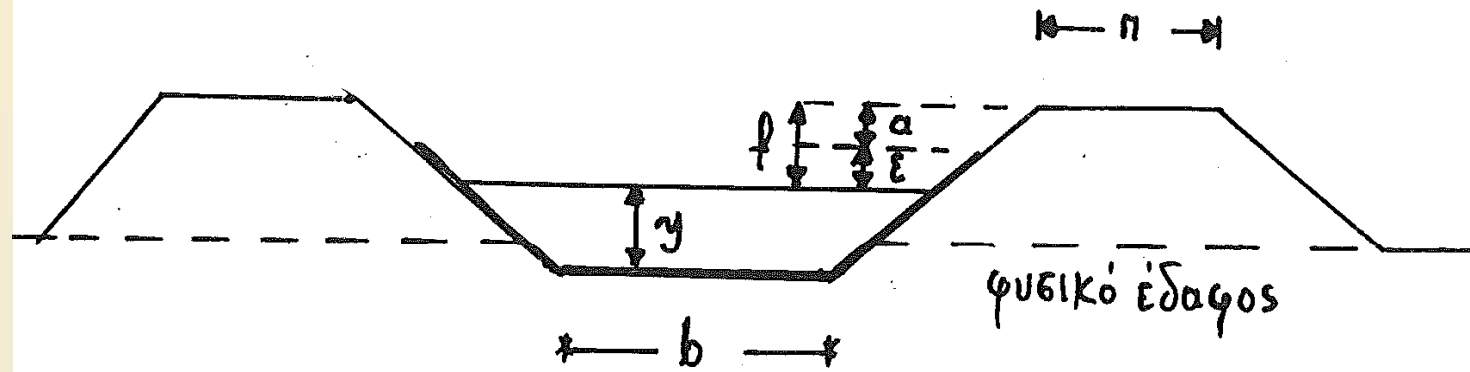
- Κατακόρυφη απόσταση της επιφάνειας του νερού από τη βεΐψη του αναχώματος.
- Αποφυγή υπερχείλισης του αχώου λόγω ανεμοσχευών κυματισμών ή λόγω λειτουργίας θυροφραγμάτων

- Για ανεπένδυτες διώρυγες: $f = 0.55 \sqrt{C y}$ U.S. Bureau of Reclamation

f : περιθώριο ασφαλείας [m]

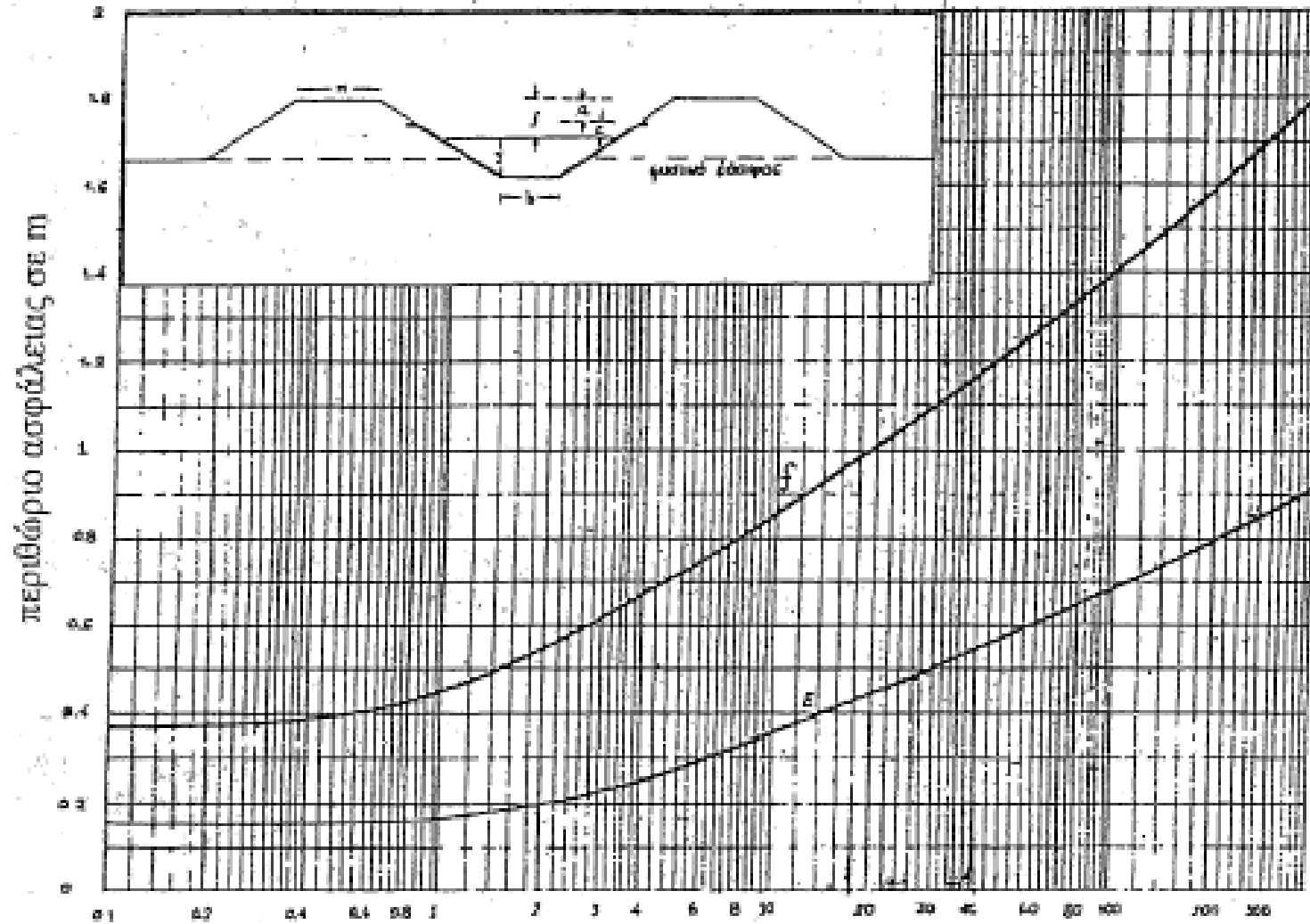
y : βάθος νερού [m]

C : συντελεστής $1.5 < C < 2.5$ για $0.50 < Q < 85 \text{ m}^3/\text{s}$



ϕ : περιθώριο ασφαλείας αναχώματος

ε : περιθώριο ασφαλείας επένδυσης



Παροχή $[m^3/s]$

Κατασκευαστικό: περιθώριο ασφαλείας σε αγωγούς τραπεζοειδούς διατομής

Θέμα

Κατασκευαστικό, Μπέλλος, 2009. Υδραυλική επίλυση: Πάντα η εσωτερική διατομή

Πίνακας 3.2

Πάχος επένδυσεως και πλάτος στέψης αναχωμάτων σε αρδευτικές διώρυγες

ΕΠΕΝΔΥΣΗ ΔΙΩΡΥΓΑΣ				ΑΝΑΧΩΜΑΤΑ ΔΙΩΡΥΓΑΣ	
Απλό σκυρόδεμα		Οπλισμένο σκυρόδεμα			
Παροχή [m ³ /s]	πάχος επένδυσης [cm]	Παροχή [m ³ /s]	πάχος επένδυσης [cm]	Παροχή [m ³ /s]	πλάτος στέψης αναχώματος [cm]
<5	5	<50	10	≤200	50
5 - 15	7	50 - 120	12	200-650	70
15 - 40	8		-	650 - 1150	80
40 - 100	9			1150-1650	90
				1650-2150	100
				2150-2800	120
				>2800	180-240